

Janne Leikkainen

MAALÄMPÖURAKAN TARJOUSLASKENNAN KEHITTÄMINEN

MAALÄMPÖURAKAN TARJOUSLASKENNAN KEHITTÄMINEN

Janne Leikkainen
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t): Janne Leikkainen

Opinnäytetyön nimi: Maalämpöurakan tarjouslaskennan kehittäminen

Developing Offer Calculation of Geothermal Heat Contract

Työn ohjaaja: Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

49 + 4 liitettä

Maalämmön hyödyntäminen energialähteenä on kasvanut viime vuosina, sillä se on vakaa, turvallinen ja helppokäyttöinen. Tulevaisuudessa rakentajia pyritään ohjaamaan energiatehokkuuteen ja vähäpäästöisyyteen, mikä puoltaa tulevaisuudessa entistä enemmän maalämmön kannattavuutta. Maalämpöpumppujen hyödyntäminen isojen kiinteistöjen energialähteenä on Suomessa yhä suosittumpaa. Tämä asettaa urakoitsijoille ja suunnittelijoille tarpeen maalämpöasiantuntijuudelle ja toimintatapojen kehittämiseksi.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää maalämpöurakan tarjouslaskentaa. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää sovellus, jolla nopeutetaan maalämpöurakan tarjouslaskentavaihetta. Opinnäytetyön tilaajana toimi Näsin Vesijohtoliike Oy, joka suorittaa maalämpöurakoita erilaisiin kohteisiin omakotitaloista aina suuriin kiinteistöihin. Tarjouslaskentatyökalun päätarkoituksena oli mitoittaa oikea putkikoko maalämmön keruuputkistolle lämmönjakohuoneessa sekä saada hintavertailua eri putkimateriaaleille ja putkien liitostavoille. Sovelluksen tarve ilmeni, koska tarjouslaskentavaiheessa on usein tiedossa vain lämmön talteenottopiirin virtaama, minkä perusteella urakoitsija joutuu itse mitoittamaan lämmönjakohuoneessa sijaitsevat putket. Lisäksi urakoitsijan vastuulla on pumpun valitseminen lämmöntalteenottopiirissä.

Työn lopputuloksena laadittiin Excel-ohjelmalla putkimitoitussovellus. Sovelluksella mitoitetaan optimiputkikoot lämmönkeruupiiriin ja saadaan tarkat painehäviöt selville. Sovelluksella voidaan suositella myös kustannusvertailua eri putkimateriaaleille eri liitostapoja käyttäen.

Asiasanat: maalämpö, putkimateriaalit, putkimitoitus, pumppumitoitus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYS.....	4
1 JOHDANTO	6
2 MAALÄMPÖ.....	8
2.1 Maalämmön hyödyt	9
2.2 Lämpöpumput historia	10
2.3 Lämpöpumput Suomessa	11
2.4 Maalämpöpumpun osat ja toiminta	11
2.5 Kompressorit.....	13
2.6 Maalämpöpumpun hyötysuhde ja vuosihyötysuhde	13
2.7 Maalämpöpumpun mitoitus	14
2.8 TRT-mittaus	14
3 MAALÄMMÖN KYTKENTÄVAIHTOEHDOT.....	16
4 MAALÄMMÖN KERUUPIIRI	19
4.1 Energiakaivo	19
4.2 Keruupiirin nesteet.....	21
4.3 Läpivienti konehuoneeseen ja putkimateriaalit	21
4.3.1 Kupari	22
4.3.2 Teräs	23
4.3.3 Ruostumaton teräs	24
4.3.4 Komposiitti.....	25
4.4 Liitokset putkistoissa.....	26
4.5 Eristykset.....	27
5 KERUUPIIRIN PUTKISTO JA LIUOSPUMPUN MITOITUS	29
5.1 Mitoituskriteerit.....	29
5.2 Kokonaispainehäviö.....	32
5.3 Keruupiirin pumpun mitoitus.....	33
6 EXCEL-SOVELLUS.....	36
6.1 Mitoitus oikealle putkikoolle.....	36
6.2 Kustannusvertailu eri putkimateriaaleille	38
7 ESIMERKKIKOHDE	41

7.1	Putkimitoitus	41
7.2	Kustannusvertailu	42
7.3	Pumpun valinta	43
8	YHTEENVETO	45
	LÄHTEET	46
	LIITTEET	50

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on maalämpöurakan tarjouslaskennan kehittäminen. Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää sovellus, jolla nopeutetaan maalämpöurakan tarjouslaskentavaihetta. Opinnäytetyön tilaajana toimii Näsin Vesijohtoliike Oy, joka suorittaa maalämpöurakoita erilaisiin kohteisiin omakotitaloista aina suuriin kiinteistöihin.

Näsin Vesijohtoliike Oy on jo 60-vuoden ajan toiminut monipuolinen LVI-alan osaaja. Yrityksen henkilömäärä on noin 80 henkilöä ja liikevaihto noin 16 miljoonaa euroa. Näsin Vesijohtoliike urakoi monipuolisesti pieniä sekä suuria kohteita. Yritykseltä saa lämmitysjärjestelmiä asennettuna, muun muassa maalämpöä. Yritys tekee myös huoltoja ja tarvittaessa korjauksia. Näsin Vesijohtoliike Oy:llä on lisäksi toimipisteet Ähtärin Vesi ja Lämpö Ähtärissä, Kolmosputki Valkeakoskella sekä Sisä-Suomen Talotekniikka Jyväskylässä. Näsin Vesijohtoliike Oy kuuluu Hanakat-ketjuun, joka on 90 itsenäisen LVI-alan yrittäjän muodostama valtakunnallinen yhteenliittymä. Asiakkailleen Hanakat-ketju tarjoaa laadukkaita talotekniikka-alan tuotteita ja palveluja. (1.)

Suurien kiinteistöjen maalämpöurakan tarjouslaskentavaiheessa on monesti tiedossa vain virtaama lämmönkeruuputkistossa, joten oikea putkikoko joudutaan mitoittamaan tarjouslaskentaa tehtäessä. Rakennuksen ulkopuolella lämmönkeruupiiriin putkisto on polyeteeniä. Rakennuksen sisälle lämmönjakohuoneeseen valitaan usein muu rakennusten yleisten laatuvaatimusten mukainen putkimateriaali. Urakoitsijan vastuulla on myös usein lämmönkeruupiiriin pumpun valitseminen. Virtaaman ja kokonaispainehäviön perusteella voidaan valita oikea pumppu lämmönkeruuputkistoon. Tätä varten kehitetään Excel-sovellus, jonka tarkoituksena on mitoittaa oikea putkikoko maalämmön lämmönjakohuoneessa sijaitsevalle keruuputkistolle. Lisäksi saadaan selville painehäviöt lämmönkeruupiiriin putkistoista. Näiden perusteella voidaan valita oikean kokoinen lämmönkeruupiiriin liuospumppu. Sovelluksella voidaan myös vertailla eri putkimateriaalien hintoja ja putkien liitostapoja.

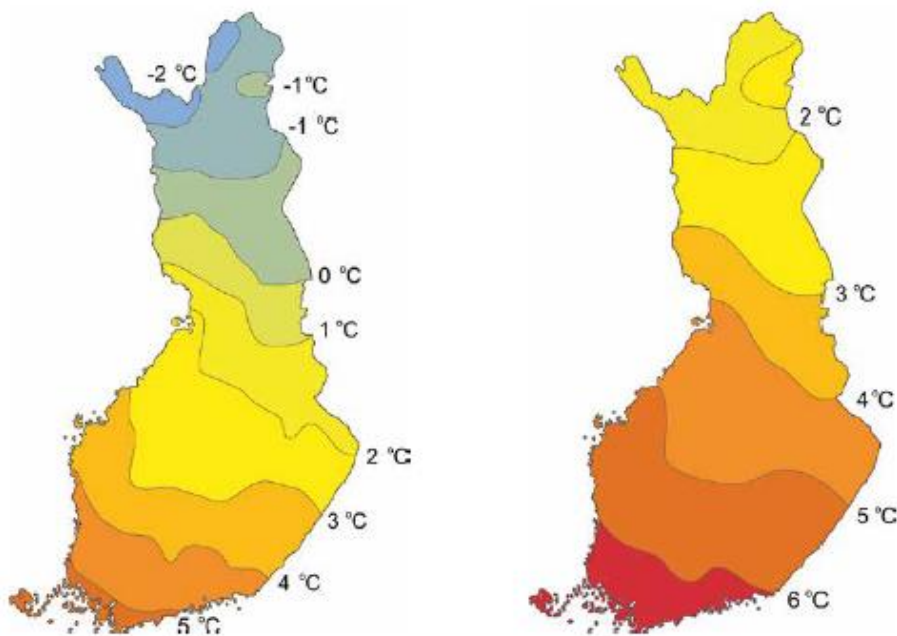
Tässä opinnäytetyössä käsitellään maalämpöä yleisesti, siihen liittyviä laitteistoja ja niiden mitoittamista. Työssä käsitellään myös yleisimpiä putkimateriaaleja ja näiden liitostapoja lämmönkeruupiirissä. Lisäksi käydään läpi putkien mitoituskriteerejä, painehäviö- ja virtausnopeuslaskentakaavoja.

Opinnäytetyössä mitoitetaan esimerkkikohteeseen oikeat putkikoot virtaamien ollessa tiedossa, lasketaan tarkat painehäviöt ja valitaan keruupiiriin pumppu. Esimerkkikohteesta suoritetaan myös hintavertailua putkimateriaaleista ja liitostavoista. Putkimateriaalien hinnat perustuvat työn tilaajan tämänhetkisiin nettohintoihin. Työn hinnan laskemisessa käytetään työehtosopimuksen mukaisia normituntiaikoja.

2 MAALÄMPÖ

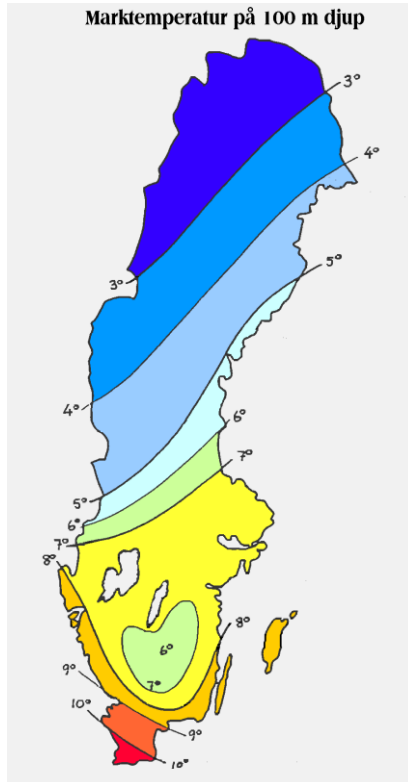
Maalämpöpumppu kerää veteen ja maa- ja kallioperän pintaan varastoitunutta aurinkoenergiaa (2, s. 2). Tätä varastoitunutta aurinkoenergiaa kutsutaan myös nimellä geoenergia (3). Maahan aurinkoenergia varastoituu sateiden, lämpimän ilman sekä auringonpaisteen seurauksena. Syvemmällä kallioperässä on myös lämpöenergiaa, joka muodostuu radioaktiivisten aineiden hajoamisen tuloksena. (4, s. 7.) Vuositasolla varastoituneesta aurinkoenergiasta noin 3 prosenttia riittää kattamaan vuotuisen lämmöntarpeemme (5).

Suomen pintaosien keskilämpötila on noin kaksi astetta ilman vuotuista keskilämpötilaa korkeampi. Lämpötila kuitenkin vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan sekä paikallisesti mutta vakiintuu 14–15 metrin syvyydessä noin 5–6 asteeseen. Syvemmälle kallioperään mentäessä maan ytimen hehkumisen seurauksena lämpötila nousee noin 0,5–1 astetta / 100 metriä ja noin 300 metrin syvyydessä lämpötila on 6,5–9 astetta. (4, s. 7.) Kuvassa 1 nähdään vuotuiset ilman keskilämpötilat Suomessa ja vuotuiset maanpinnan keskilämpötilat.



KUVA 1. Vasemmalla ilmalämpötilan vuotuinen keskiarvo ja oikealla maanpinnan vuotuinen keskilämpötila (4, s. 7)

Kuvassa 2 on Ruotsin maaperän lämpötilat noin 100 metrin syvyydessä. Kuvasta nähdään, että Etelä-Ruotsissa lämpötila on 10 °C ja Pohjois-Ruotsissa lämpötila on laskenut 3 °C:seen. Oulun korkeudella lämpötila on 5 °C.



KUVA 2. Maaperän lämpötila Ruotsissa 100 metrin syvyydessä (6, SULPU)

2.1 Maalämmön hyödyt

Kiinteistön lämmönlähteen valintaa tulee tarkastella tapauskohtaisesti. Lämmönlähteen valintaa ohjaavat kiinteistön ominaisuudet, energiatarpeen määrä ja rakenne, samoin hankintahinta, käyttökulut, käytön helppous ja ympäristöystävällisyys. Suurten kohteiden lämmönlähteen valinnassa maalämpö on kuitenkin usein varteenotettava vaihtoehto, vaikka sen perustamiskustannukset on koettu korkeiksi. (7, s.11–12, 14.)

Geoenergia eli maalämpö on vähäpäästöinen, parhaassa tapauksessa jopa täysin hiilidioksidipäästötön, mikäli sähkö tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä tai ydinvoimalla. Oikein hyödynnettyinä maalämpö on uusiutuva energialähde. Vaikka maalämmön hankintahinta on suuri, omakotitaloissa noin 12 000–20 000 €, saadaan sillä säästettyä energiaa ja rahaa. Maalämpöpumppu tuottaa

3–5-kertaisen määrän energiaa sen itse kuluttamaan energiaan nähden. Suoraan sähkölämmitykseen verrattuna maalämpöpumpulla voidaan saada jopa 3–5-kertaisen säästön. (7, s. 11–12.) Taulukossa 1 on laskettu maalämpöpumpulla saavutettu säästö, silloin kun lämmitykseen ja käyttövee-
teen kuluu 25 000 kWh sähköä tai 3000 litraa öljyä vuodessa. (8, s. 7.)

TAULUKKO 1. Maalämpöpumpulla saavutettu säästö (8, s. 7 muokattu)

	Säästö kWh vuodessa	Säästö ¹ euroa vuodessa	Investointi ² euroa
Maalämpöpumppu	14 000–17 000	1800–2200	14 000–20 000

¹Sähkö ja öljy 0,13€/kWh (sähkö 13 c/kWh ja öljy 1,1 €/litra 80 % vuosihyötysuhteella)

²Investointikustannus asennettuna, ei sisällä lämmönjakojärjestelmää

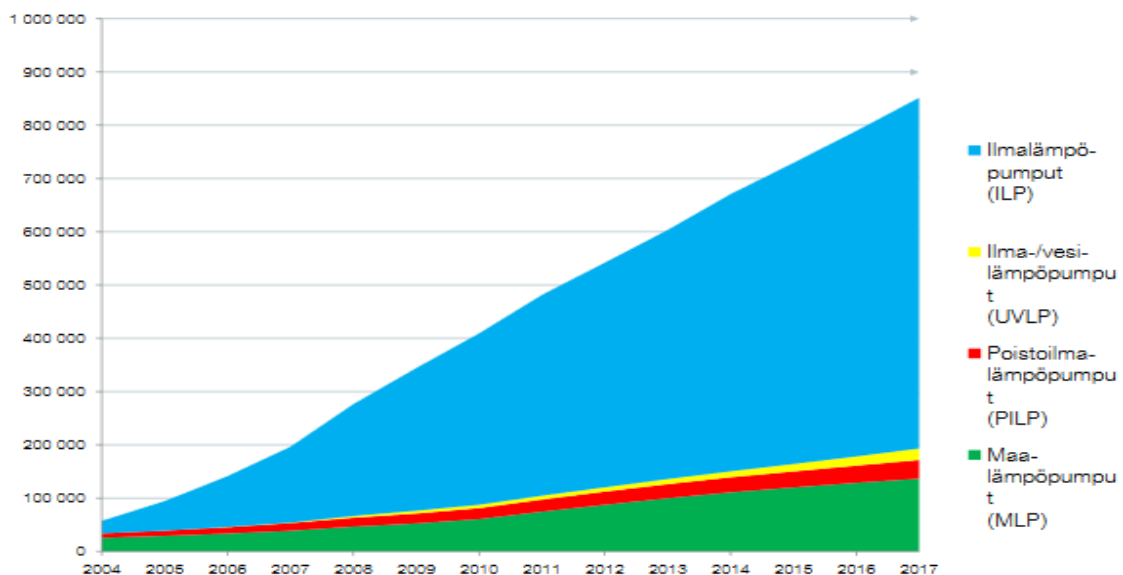
Muiden energialähteiden, kuten sähkön ja öljyn osalta hinta on vaihdellut paljon viime vuosina. Maalämmön etu on vakaus, koska se tarvitsee ulkopuolista sähkönenergiaa vain maalämpökoneiston pyörittämiseen. Maalämpöpumppu on myös turvallinen ja helppokäyttöinen, sillä maalämpöomistajan ei tarvitse huolehtia esimerkiksi pelletin tai öljyn tilaamisesta. Maalämmöllä voidaan sekä lämmittää että jäähdyttää, mikä tekee siitä myös tehokkaan ratkaisun. Viilentäminen maalämmön avulla huoneistoissa on suotavaa, koska viilennyksestä kertyvä lämpö varataan lämpökai-
voon. Tulevaisuudessa rakentajia pyritään ohjaamaan energiatehokkuuteen ja vähäpäästöisyyteen asettamalla haitallisille energiantuotantotavoille korkeampia veroja. Tämä puoltaa tulevaisuudessa entistä enemmän maalämmön kannattavuutta. (7, s. 11–12.)

2.2 Lämpöpumput historia

Lämpöpumpputyypit ovat maalämpöpumppu, ulkoilmalämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu. Ensimmäiset lämpöpumput on asennettu rakennuksiin jo 1920-luvulla, mutta sotien jälkeen ne palasivat takaisin vasta 1970-luvun lopulla öljykriisin aikana. Kiinnostus lämpöpumppuihin kuitenkin loppui öljyn hinnan alennuttua ja lämpöpumppujen laatuongelmien takia. (9, s. 278; 10, s. 230.) Lämpöpumput ovat vasta viime vuosina nousseet takaisin suosioon öljyn ja muiden energialähteiden lähdettyä voimakkaaseen hinnannousuun (9, s. 27). Lisäksi nykyisin lämpöpumppujen laatuun panostetaan testaamalla niitä kunnolla (10, s. 230).

2.3 Lämpöpumput Suomessa

Suomen sijainti, infrastruktuuri ja hintakehitys luovat hyvät mahdollisuudet lämpöpumpun hankinnalle. Lisäksi Suomen kylmän ilmaston takia joudutaan lämmittämään paljon, noin 120 TWh vuodessa. Hyvät porausolosuhteet, kattavan kaasuverkoston puute ja kaukolämpöverkostojen sijainnit vain taajamissa puoltavat lämpöpumpun hankintaa. EURES-direktiivin velvoitteet ovat, että Suomessa olisi vuoteen 2020 mennessä käytännössä yhden miljoonan verran lämpöpumppuja, joilla tuotettaisiin 10 TWh/a ilmaista uusiutuvaa energiaa. (11.) Suomen lämpöpumppuyhdistyksen vuonna 2017 laatimasta tilastoinnista (kuva 3) nähdään, että Suomessa on tällä hetkellä noin 850 000 kpl lämpöpumppuja. Maalämpöpumppujen lukumäärä vuonna 2017 on yhteensä noin 120 000 kpl.



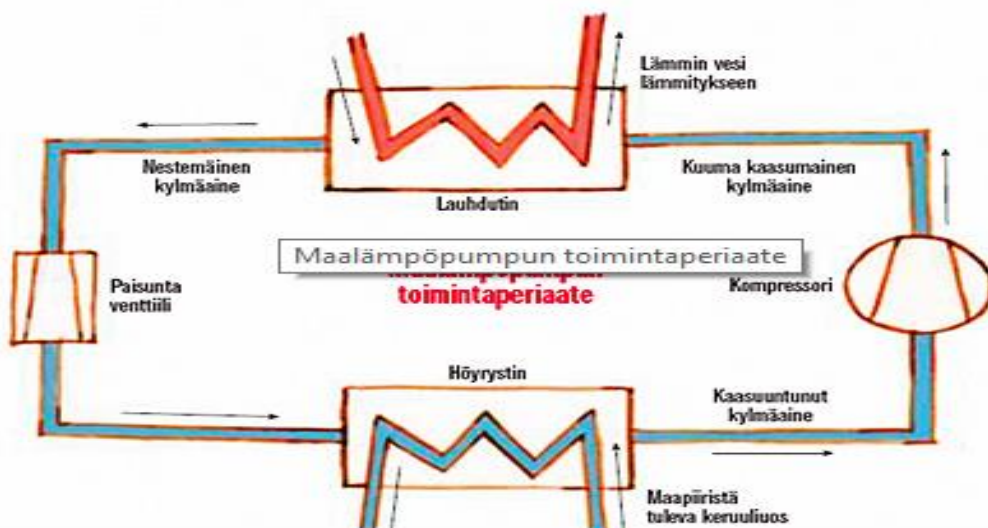
KUVA 3. Myydyt lämpöpumput yhteensä Suomessa (12)

2.4 Maalämpöpumpun osat ja toiminta

Maalämmön toiminta perustuu kylmätekniikkaan, jossa lämpöä siirretään lämpimästä kappaleesta kylmempään, samoin kuin kylmäkoneistossa toiminta perustuu kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Uusissa lämpöpumpuissa kylmäaineena käytetään R407C:tä, mutta myös R134a, R404A, R507A ja R410A ovat yleisesti käytössä. (10, s. 230.) Tulevaisuudessa hyväksyttävien kylmäaineiden lainsäädäntö tiukentuu GWP luvun osalta (13). GWP-luku ilmoittaa kylmäaineen kasvihuonehaitallisuuden (Global Warming Potential) (14). Esimerkiksi kylmäaine R404A (GWP =

3922) on poistumassa ja sen korvaajaksi on arvioitu R455a:ta (GWP = 145) sekä R454C:tä (GWP = 146) (13).

Maassa, kalliolla tai vesistössä kiertävä veden ja etanolin liuos, jonka jäätymispiste on matala, kiertää lämpöpumpun höyrystimen kautta. Höyrystimen toisella puolella kiertävä kylmäaine höyrystyy sitoen lämpöä ympäristöstä ja jäähdyttää lämmönsiirtoliuoksen, joka palaa takaisin lämpiämään energialähteeseen. Höyrynä oleva kylmäaine imetään ja puristetaan korkeampaan paineeseen kompressorin avulla, jolloin höyry myös lämpenee. Tämän jälkeen höyry siirtyy lauhduttimeen, jossa se muuttuu nesteeksi luovuttaen lämpöä. Maalämpöpumpussa lauhduttimessa lämpö siirretään yleensä veteen, josta lämpö siirretään patteri- tai lattialämmityksen kautta huoneistoon. Lauhduttimessa nesteytynyt kylmäaine siirtyy nyt paisuntaventtiilille, joka laskee sen paineen ja lämpötilan siirtyen takaisin höyrystimelle. (10, s. 231.) Maalämpöpumpun toimintaa on havainnollistettu kuvassa 4.



KUVA 4. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (15)

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen 517/2014 mukaisesti on pätevän henkilön tarkastettava lämpöpumppuja, mikäli kylmäaineena käytettävien fluorattujen kasvihuonekaasujen määrä ylittää 5 000 kg hiilidioksidiekvivalenttia. Hiilidioksidin ekvivalenttimassa saadaan laskettua kaavalla 1, kun todellinen massa ja kylmäaineesta riippuva GWP-luku on tiedossa. (16, s. 4.)

$$CO_2 - \text{ekv. massa} = \text{todellinen massa} * \text{kylmäaineesta riippuva GWP} - \text{luku}$$

KAAVA 1

2.5 Kompressorit

Maalämpöpumpun kompressorit ovat 100 kW:n tehoon asti hermeettisiä mäntä- ja scroll-kompressoreita. Suuritehoiset lämpöpumput ovat puolihermeettisiä mäntäkompressoreita. Kompressoria valittaessa huomioidaan lämpökertoimen lisäksi hinta, kestävyys, tilantarve, äänitaso, eristettävyys ja putkiliitännöiden sijainti. (10, s. 231.)

Kompressorin säätö tapahtuu joko on-/off-säädöllä tai inverter-tekniikalla. Perinteisellä on-/off-säädöllä toimiva kompressorikäynnistyy, kun asetuslämpötila alitetaan huoneessa, lämmitysverkostossa tai säiliössä. Kompressorikäy niin kauan, että lämpötila on saavuttanut asetetun lämpötilan. Kompressorikäy aina vakionopeudella. Inverter-tekniikassa kompressorin pyörimisnopeutta säädetään halutun lämmitystehon mukaan. Pyörimisnopeus pienenee, kun lämmöntarvekin pienenee, ja taas päinvastoin pyörimisnopeus nousee, kun lämmitystarve kasvaa. Inverter-tekniikalla saadaan tasaisempi lämpötila, energiansäästöjä ja hiljaisempi käyntiääni. (17, s. 182.) Etuna on myös pidempi kompressorin kestoikä, koska kompressin käynnistystöitä on vähemmän. Inverterikäyttöä täysitehoiset lämpöpumput toimivat paremmin kuin on-/off-säädöllä toimivat.

2.6 Maalämpöpumpun hyötysuhde ja vuosihyötysuhde

Maalämpöpumppu tarvitsee sähköenergiaa kompressorin pyörittämiseen, ja myös mahdollisissa pumpuissa ja lisävastuksissa kuluu sähköä. Maalämpöpumpun tehokkuutta kuvataan lämpökertoimen avulla. Lämpökerroin kuvaa, paljonko lämpöenergiaa pumppu tuottaa itse verrattuna syötettyyn sähköenergiaan. Esimerkiksi lämpökertoimella 5 oleva pumppu tuottaa ilmaista energiaa nelinkertaisen määrän verrattuna syötettyyn energiaan, eli se ottaa sähköverkosta yhden kilowattitunnin ja tuottaa 4 ylimääräistä kilowattituntia. Lämpökerrointa kuvataan myös lyhenteellä COP (Capacity Of Performance) (9, s. 30). Kun tuotettu lämpö jaetaan kompressorin kulutetulla sähköllä, saadaan lämpökerroin laskettua (kaava 2) (10, s. 230).

$$\text{Lämpökerroin} = \frac{\text{Tuotettu lämpö (kWh)}}{\text{Käytetty sähkö (kWh)}} \quad \text{KAAVA 2}$$

Lämpökerroin on sitä parempi, mitä pienempi on ero lämmön keruupiirissä ja lämmönluovutuspiirissä. Tästä johtuen lämpöpumput ovat parhaiten sopivia lattialämmitykseen ja ilmalämmitykseen.

(10, s. 231). COP-lukuja vertailtaessa kannattaa varmistaa, mitä standardia on käytetty. Vanha EN 255 -standardi antaa paremman COP-arvon kuin uusi virallinen EN 14511 -standardi (18).

Lämpöpumpuille on myös vuosihyötysuhdetta kertova SCOP-luku (Seasonal Coefficient of Performance). SCOP-luvusta on olemassa standardi EN 14825, joka jakaa Euroopan kolmeen ilmasto-työhykkeeseen. Suomessa olevien lämpöpumppujen SCOP-luku lasketaan Helsingin ilmasto-olosuhteiden mukaisesti. SCOP-luvut ovat yleistymässä maalämpöpumpuissa, koska ne kertovat selkeämmin ja vääristelemättä laitteiston hyötysuhteen (18). Lämpökertoimeltaan paras lämpöpumpputyyppi on maalämpöpumppu ja sen vuosilämpökerroin on noin 2,5–3,5 (15).

2.7 Maalämpöpumpun mitoitus

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa niin, että sillä tuotetaan kaikki lämpöenergia, jolloin mitoitus on tehty täystehomitoituksena. Mitoitus voidaan tehdä myös osatehomitoituksena, jolloin pumppu mitoitetaan 50–80 prosentin teholle huipputehontarpeesta, mutta katetaan kuitenkin 90–99 tarvittavasta lämpöenergiasta vuositasolla, koska huipputehontarvetta on vain vähän aikaa vuodesta. Osatehomitoituksen etuina ovat pienempi investointihinta ja kompressorin pidemmät käyntiajat, mikä pidentää sen elinikää. Haittapuolena on suuremman sähkötehon tarve kovilla pakkasilla. (10, s. 242; 18.) Inverter-tekniikalla saadaan pidemmät käyntiajat kompressorille, kun mitoitus on tehty täysitehoisena.

Vaakaputkistot maahan ja kallioon porattavat kaivot mitoitetaan vuotuisen lämpöenergian mukaan. Vesistöön asennettava putki mitoitetaan huipputehon mukaan. (10, s. 242.) Edullisin mitoitusaste on aina tapauskohtainen riippuen sekä energian hinnasta että maalämpöpumpun ja lisälämmityksen tehon lisäyksen hinnoista. Osatehomitoitus 30–50 prosentilla on ollut edullisin suurissa kohteissa. (20, s. 357.)

2.8 TRT-mittaus

TRT-mittauksella (Thermal Response Test) selvitetään energiakaivon termisiä ominaisuuksia, minkä avulla suunnitellaan ja mitoitetaan lämmitys- ja/tai viilennyskäyttöön tuleva maalämpöjärjestelmä. Suurissa kohteissa TRT-mittaus on suositeltavaa, koska täten optimoidaan energiakentän ja järjestelmän toimivuus ja vältetään ali- ja ylimitoituksilta. (21, s. 86.)

TRT-mittauksella jäljitellään lämpöpumpun toimintaa mutta käännetysti. Mittauksella selvitetään, paljonko kallio pystyy vastaanottamaan lämpöä eli mikä on kallion tehollinen lämmönjohtavuus ja energiakaivon lämpövastus. Lämmönjohtavuuteen vaikuttaa kallioperän lämmönjohtavuus ja veden virtaus. Koska kivilajien lämmönjohtavuuksissa ja pohjaveden virtauksissa voi olla merkittäviäkin eroja, voivat ne vaikuttaa energiakaivojen määrään ja syvyyteen merkittävästi. (21, s. 86.)

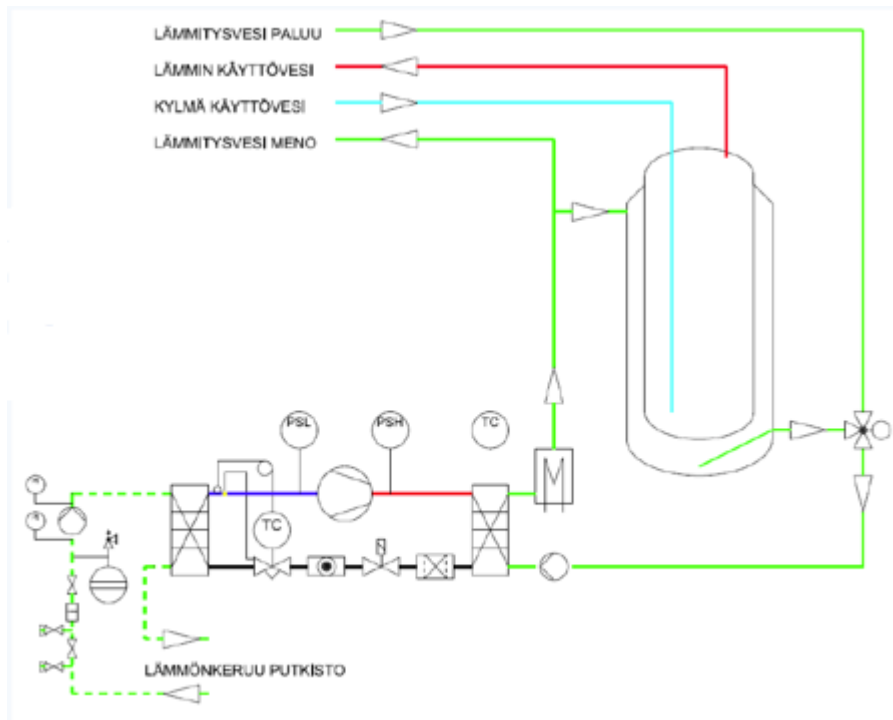
Energiakaivon tehollinen lämmönjohtavuus ja lämpövastus saadaan mittaamalla kaivoon menevän ja sieltä palavaan nesteen lämpötilaa. Tehollinen lämmönjohtavuus kuvaa kallion lämmönjohtavuuden ja mahdolliset veden virtaukset. Mikäli lämmönjohtavuus on suuri, parantaa se lämmön siirtymistä kauempaa energiakaivon lähelle ja siitä lämmönsiirtonesteeseen. Lämpövastuksella kuvataan lämmönsiirtoputkiston ja energiakaivon ominaisuuksien vaikutusta lämmön siirtymiseen kallioperästä lämmönsiirtonesteeseen. Energiakaivon lämpövastuksen ollessa pieni siirtyy lämpö hyvin lämmönsiirtonesteeseen. (21, s. 86.)

3 MAALÄMMÖN KYTKENTÄVAIHTOEHDOT

Maalämmön kytkentävaihtoehtoja ovat ruotsalaismallinen, varaajamallinen ja tulistuslämmön erikseen hyödyntävä lämpöpumppu. Lisäksi voidaan hyödyntää sähkölämmitteistä käyttövedenvarajaa. Tässä työssä käsitellään vain kaksi yleisintä maalämmön kytkentävaihtoehtoa sekä tulistuksen erikseen hyödyntävä lämpöpumppu.

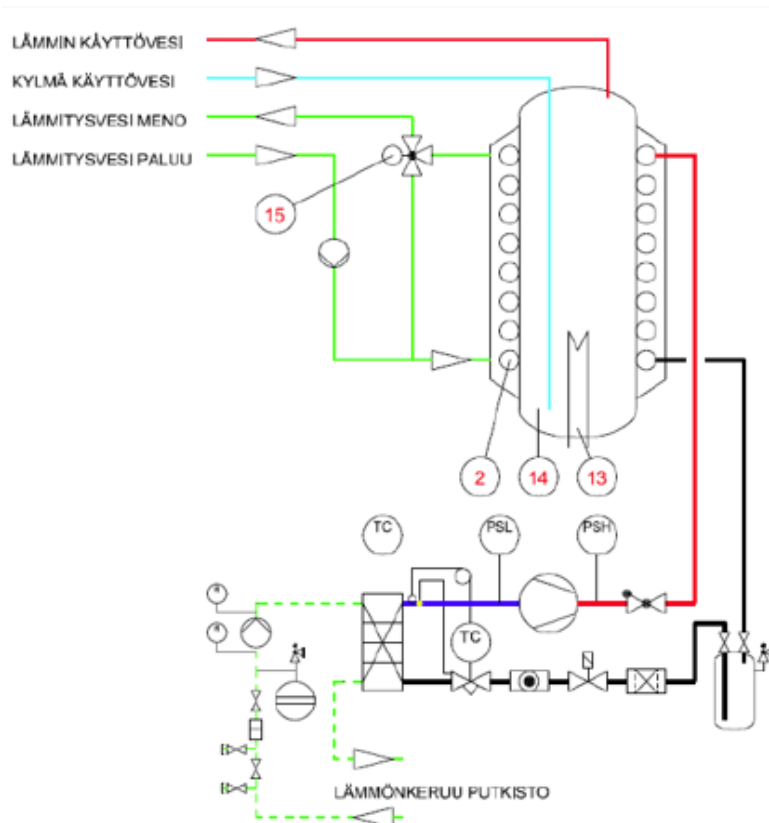
Yleisin myynnissä olevista maalämpöpumpuista on ruotsalaismallinen lämpöpumppu (kuva 5). Lämpöpumpulla on säädin, joka priorisoi käyttöveden lämmityksen. Tällöin kierto tapahtuu vaihtovernttiilin avulla käyttövesisäiliön vaipan kautta, jota tarvittaessa lämmitetään sähkövastuksen avulla. Käyttöveden lämpötila tulee olla välillä vähintään 55 °C, jotta välttyään legionellabakteerilta. Suomessa käyttöveden lämmitystä ei saa tehdä niin että kylmäaineen ja käyttöveden välissä on vain yksi seinämä. (10, s. 235–236.)

Muissa tilanteissa säädin ohjaa kompressoria ja sähkölämmittintä sekä usein lämmityksen vaihtovernttiiliä. Sääto tapahtuu joko ulkoilman lämpötilan tai huonelämpötilan mukaan. Tämän tavan tavoitteena on pitää kompressorin lauhtumislämpötila mahdollisimman matalana. Tämän mallisissa lämpöpumpuissa on suositeltavaa asentaa lämmitysveden kiertoon 100–300 litran vetoinen säiliö, jotta vesivirta pysyy lauhtuttimessa mahdollisimman tasaisena. Vesivirran pienetessä lauhtumislämpötila nousee, mikä taas huonontaa lämpökerrointa. Samalla säiliö tasaa lämpötilan vaihteluita ja pidentää kompressorin käyntiaikoja. (10, s. 236.) Myös veden lämpötilavaihtelut tasoittuvat, jolloin esim. pattereiden lämpöliikkeestä aiheutuvat äänihaitat estyvät. Lisäksi on-/off pumpun käynnistyksien määrä vähenee. Vakiovesivirta lauhtuttimessa mahdollistaa häiriöttömän toiminnan.



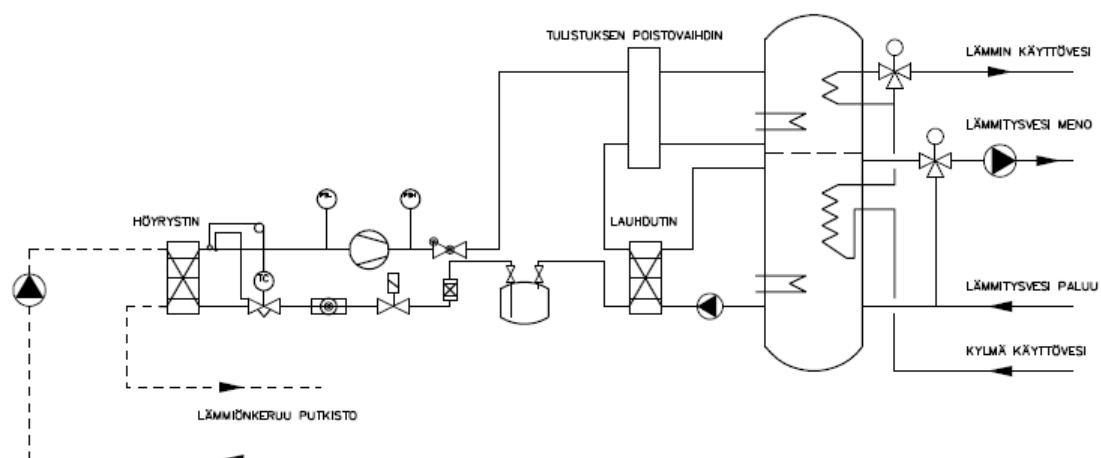
KUVA 5. Ruotsalaismallisen lämpöpumpun kytkentäkaavio (6; 10, s. 236, muokattu)

Varaajamallisia lämpöpumppuja (kuva 6) on ollut Suomessa pitkään käytössä. Varaajamallisissa lämpöpumpuissa lauhdutinputkisto on käyttövesisäiliön ulkopuolella, ja tulistuslämpö saadaan hyödynnettyä, mikä lämmittää käyttövesisäiliön yläosaa. Käyttöveteen sekoitetaan kylmää vettä oma-toimisella 3-tieventtiilillä, jotta käyttövesi ei ole liian kuumaa. Poikkeustilanteiden varalta varustetaan käyttövesisäiliö lämmitysvastuksella. (10, s. 237.) Lämmitysvastuksella voidaan myös lämpötila nostaa välillä 70 °C:seen, jotta vältetään legionellabakteerilta. Rakennusta lämmittävä vesi kiertää vaipassa, jota säädetään oikean lämpöiseksi 3-tiemoottoriventtiilillä (10, s. 237).



KUVA 6. Varaajamallinen lämpöpumppu (6; 10, s. 237, muokattu)

Kuvassa 7 on lämpöpumpun kytkentä, jossa tulistuslämpö hyödynnetään. Tulistunut kylmäaine lämmittää lämmitysvesisäiliön yläosan tulistuksen poistovaihtimessa. Tämän jälkeen kylmäaine siirtyy lauhduttimeen, jossa se lämmittää säiliön alaosaa. Tulistuslämmön hyödyntävillä lämpöpumpuilla päästään korkeisiin lämpötiloihin säiliössä ilman sähköenergiaa. (10, s. 237–238.)



KUVA 7. Tulistuksen poiston erikseen hyödyntävä lämpöpumppu (10, s. 239, muokattu)

4 MAALÄMMÖN KERUUPIIRI

Maalämpöpumpun energian talteenotto tapahtuu joko kaivossa, pintamaassa tai vesistössä, jossa lämmönsiirtoneste kiertää keruuputkistossa lämmeten muutaman asteen aina matkansa aikana (21, s. 51). Tässä opinnäytetyössä käsitellään energian talteenottotavoista vain kaivoja, koska ne soveltuvat suurille kiinteistöille ja ovat yleisimmin käytössä.

4.1 Energiakaivo

Porakaivoon asennettavaa lämmönkeruuputkistoa kutsutaan energiakaivoksi tai lämpökaivoksi. Energiakaivo on nimenä yleistymässä, koska kaivoja käytetään lämmittämiseen ja viilennykseen yhä enemmän (22, s. 2). Kun energiakaivojen lukumäärä suurissa kohteissa kasvaa yli kymmenen, käytetään nimitystä energiakenttä (4, s. 51).

Porakaivo on kustannuksiltaan kallein, mutta sen etuja ovat asennuksen mahdollisuus ahtaallekin tontille, hyvä energiansaanti putkimetriä kohti ja vähäiset kaivutyöt. Lisäksi se on routimaton, sekä järjestelmän helppo ilmaus on mahdollinen. (23, s. 3.) Yhden kaivon maksimisyvyytenä pidetään 200–250 metriä mutta kuitenkin alle 300 metriä. Porakaivojen halkaisijat vaihtelevat 105 ja 165 millimetrin välillä, mutta yleisin Suomessa käytettävä halkaisija on 115 millimetriä, koska isomasta halkaisijasta ei ole todettu olevan suurempaa hyötyä suhteutettuna sen kalliimpiin poraamiskustannuksiin. (4, s. 33; 24.) Keruuputkiston meno- ja paluuputkien tulisi olla kaivon seinämissä kiinni, jotta lämmönsiirto olisi tehokkainta ja putkien välillä ei tapahtuisi lämmönsiirtoa (terminen oikosulku). Putket saadaan erilleen ja lähemmäs kaivon seinämiä käyttämällä ns. erottimia. (22, s. 11.)

Poraamisesta ja maaperään ja vesistöön asennettavista keruuputkistoista on tullut vuonna 2011 luvanvaraista. Esimerkiksi merkittäväällä pohjavesialueella porauslupa voidaan hylätä. Suunniteltaessa maalämpöjärjestelmän keruuputkistoa on otettava huomioon seuraavat lait ja määräykset: maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999), kiinteistömuodostamislaki (554/1995), ympäristönsuojelulaki (86/2000), vesilaki (264/1961), kemikaalilaki (744/1989), terveydensuojelulaki (763/1994), kuntien ympäristönsuojelumääräykset, rakennusjärjestys ja Suomen rakentamismääräyskoelma. (21, s. 81.)

Lämpökaivo muuttaa ympäristön lämpötiloja yli 75 metrin säteellä lämmönottotilanteessa. Mikäli lämpökaivo asennetaan toisen lämpökaivon vaikutussäteen sisälle, lämpökaivon vaikutukset summautuvat. Lämpöä on näin ollen vähemmän tarjolla, mikäli ollaan toisen kaivon vaikutussäteen sisäpuolella. (22, s. 14.) Vinoporauksella voidaan lämpökaivojen yläpäitä tuoda lähemmäksi (20, s. 353). Mikäli suositellut minimietäisyydet (taulukko 2) eivät toteudu, voidaan poraaminen kieltää.

TAULUKKO 2. Suositellut minietäisyydet lämpökaivoilla (4, s. 25 muokattu)

Kohde	Suositteltu minimietäisyys
Energiakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon pukupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket)- 5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m (tapauskohtainen)

*porareian ollessa pystysuora

**etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivussyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Energiakaivojen poraaminen voidaan myös kieltää, mikäli maaperä on pilaantunut tai kaatopaikka sijaitsee lähellä. Rakennushankkeeseen ryhtyvän on selvitettävä maaperän pilaantuneisuus ympäristönsuojeluviranomaisilta ja alueen historian tuntevilta asukkailta, jos pilaantumista epäillään. Vuotojen varalta lämmönkeruupiiri tulee varustaa vuotojen ilmaisimella, kuten matalapainekeytimellä tai painemittarilla. Lämmönkeruu- tai kylmäainepiireissä tapahtuvista vuodoista on tehtävä ilmoitus ympäristönsuojeluviranomaiselle ja korjattava nämä ilman aiheutonta viivytystä. (16, s. 3–4.)

4.2 Keruupiirin nesteet

Maalämmön keruupiirin nesteinä käytetään eri aineiden ja veden liuosta, koska liuos ei saa jäätymästä alle 0 °C:n lämpötilaan. Suomessa maalämmön keruupiirin nesteinä yleisimmin käytetään etanoliliuosta, jonka jäätymispiste on -17 °C. Jonkin verran käytössä on myös betaiinia ja kaliumformiaattia. Kaliumformiaatin käytön yhteydessä tulee välttää galvanoituja pintoja ja alumiinia, koska se on muita aineita korrosiivisempi. Vanhoissa järjestelmissä on ollut käytössä erilaisia glykoliliuoksia sekä metanolia, mutta niistä on luovuttu niiden myrkyllisyyden tai huonon lämmönsiirtokyvyn takia. (4, s. 46.) Esimerkiksi metyleeniglykoli ei ole myrkyllinen, mutta sillä on huono lämmönsiirtokyky alhaisessa lämpötilassa.

Hyvän lämmönsiirtonesteen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat alhainen jäätymispiste ja viskositeetti, hyvä lämmönjohtavuus, korkea ominaislämpökapasiteetti, kemiallisesti stabiili, pitkäikäisyys sekä palamattomuus, myrkyttömyys ja biologinen hajoavuus. Myös yhteensopivuus eri materiaalien kanssa on tärkeä ominaisuus esimerkiksi korroosion takia. (4, s. 46.)

4.3 Läpivienti konehuoneeseen ja putkimateriaalit

Keruupiirin putkimateriaalina käytetään polyeteeniä, jonka liitokset porareissä suoritetaan muovihitsauksella (4, s. 38). Polyeteeni kestää hyvin kulutusta, iskuja ja siihen ei muodostu korroosiota (25). Suomessa yleisin halkaisija porareian putkissa on 40 millimetriä kustannusten takia. Kaivon toiminnan kannalta polyeteenillä on huonot lämmönsiirto-ominaisuudet, mutta tärkeintä on saavuttaa riittävä virtausnopeus. Keruuliuksen virtaus kaivossa tulee olla turbulentista, koska turbulentisella virtauksella on parempi lämmönsiirtokyky kuin laminaarisella. Rihlatulla putkella saadaan edistettyä turbulenttisuutta. (22, s.11.)

Maalämpökoneisto sijaitsee rakennuksen lämmönjakohuoneessa, ja keruuputkiston läpivienti ei saa heikentää kantavaa rakennetta. Lisäksi läpiviennin eristävyys lämmön, kosteuden ja radonin suhteen tulee vastata lävistettävää rakennetta. (23, s. 5.) Liityttäessä lämpöpumppuun lämmönjakohuoneessa voidaan putkimateriaali vaihtaa polyeteenistä muuhun hyväksyttyyn putkimateriaaliin (4, s. 39). Rakenneaineet tulee valita huolellisesti, koska käyttövarmuuden ja taloudellisuuden ohella on kyse myös ihmisten turvallisuudesta. Ympäristötekijöistä putkimateriaalin valintaa ohjaa-

vat lämpötilan- ja korroosionkesto. Materiaalin työstettävyydellä, esim. hitsattavuus, on suuri merkitys putkimateriaalia valittaessa. (26, s. 34.) Myös kustannushinta töineen ja materiaaleineen ohjaavat putkimateriaalin valintaa. Kuvassa 8 nähdään keruuputkiston läpivienti rakennukseen ja putkimateriaalin vaihdos polyeteenistä ruostumattomaan teräkseen laippaliitoksilla.



KUVA 8. Lämmönkeruuputkisto rakennuksen sisällä (27)

Etyylialkoholin kanssa sopivat metallit ovat kupari, messinki, ruostumattomat teräkset ja alumiini. Hiiliteräs ja valurauta ovat sopivia etyylialkoholin kanssa myös, mutta mikäli vesipitoisuus on suuri, tapahtuu korroosiota. (26, s. 144.) Sinkitystä teräksestä ollaan luopumassa, koska sen pinnalle muodostunut kondenssi syövyttää putkia. Syöpyminen johtuu siitä, että sähkösinkityn sinkkikerroksen paksuus on liian pieni. Yleisimmät muovit/kumit soveltuvat etyylialkoholin kanssa, mutta niiden soveltuvuus esimerkiksi tiivisteiden osalta tulee aina tarkistaa tuotteen valmistajalta.

4.3.1 Kupari

Kuparia (kuva 9) käytetään yleisesti liuosputkissa sen helpon työstettävyyden ja seostettavuuden takia. Paineastioissa, joihin putkistot kuuluvat, kuparia voidaan käyttää lämpötila-alueella – 200...+375 °C. Kupariputken mitoituksessa tulee ottaa huomioon se, että virtausnopeus 2,0 m/s ei saa ylittyä eroosiorossoon lisääntymisen vuoksi. (26, s. 34.) Taulukkoon 3 on lueteltu kuparin etuja ja haittoja.

TAULUKKO 3. Kuparin edut ja haitat (26, s. 34)

Edut	Haitat
hyvä sähkön- ja lämmönjohtavuus	alhainen jäykkyys
hyvä korroosionkesto	suuri tiheys→ painava
helppo muokattavuus	hintaa
helppo seostettavuus	
helppo työstettävyys, mm. juotettavuus	



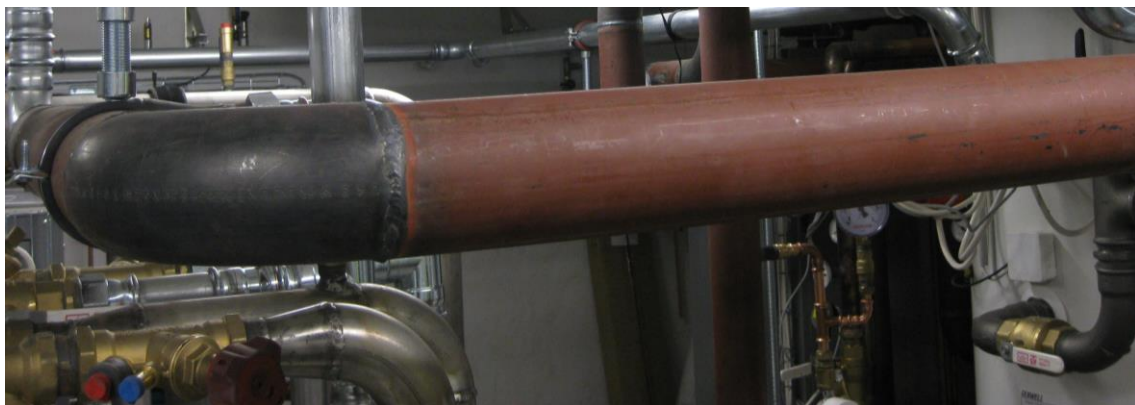
KUVA 9. Kupariputkea asennettuna (27)

4.3.2 Teräs

Yksi suosituimmista paineastia- ja putkistomateriaaleista on teräs (kuva 10). Kun hiilipitoisuus raudassa on alle 2,11 prosenttia, kutsutaan sitä teräkseksi. Teräksellä on kolme pääryhmää, jotka jaetaan omiin ryhmiinsä niiden hiilipitoisuuden mukaan: niukkahiilliset ($C = 0,05\text{--}0,25\%$), keskihiilliset ($C = 0,2\text{--}0,6\%$) ja runsashiilliset ($C = 0,6\text{--}2,11\%$) teräkset. Valmistuksessa käytetään lähes aina niukkahiillistä terästä, koska suuri hiilipitoisuus aiheuttaa haasteita hitsattavuudessa. Tiivistettyä terästä käytetään, kun käyttölämpötila on alle $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpötila-alueen ollessa $0\text{...}+300\text{ }^{\circ}\text{C}$, käytetään saumattomia ja hitsattavia teräsputkia. Teräsputkimateriaaleista yleisimpiä ovat Fe37 ja Fe52. (26, s. 34–35.) Taulukkoon 4 on lueteltu teräksen etuja ja haittoja.

TAULUKKO 4. Teräksen hyödyt ja haitat (26, s. 35)

Edut	Haitat
lujuus	huono korroosionkesto
helppo muokattavuus	suuri→ painava
helppo seostettavuus	
helppo hitsattavuus, kun C<0,25 %	
hinta	



KUVA 10. Teräsputkea asennettuna (27)

4.3.3 Ruostumaton teräs

Joissain olosuhteissa seostamattomat teräkset syöpyvät, viruvat tai haurastuvat, ja tällöin putkimateriaaliksi voidaan valita ruostumaton teräs. Kun teräkseen sekoitetaan vähintään 12 prosenttia kromia, muodostuu ruostumaton teräs. Kromi saa aikaiseksi teräksen pinnalle hapettavissa olosuhteissa ohuen, tiiviin ja kemiallisesti kestävän kromioksidikalvon. Pelkistävissä olosuhteissa joudutaan teräkseen lisäämään myös muita seosaineita kuten nikkeliä, molybdeenia, niobia ja titaania, jotta taataan suojaavan oksidikalvon muodostuminen. Ruostumattomia teräksiä, joihin on lisätty molybdeenia, kutsutaan haponkestäviksi teräksiksi. (26, s. 35.)

Ruostumattomat teräkset (kuva 11) voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: austeniittiset (AISI 300), ferriniittiset (AISI 400) ja martensiittiset ruostumattomat teräkset. Austeniittiset (AISI 300 -sarjan putket) ovat ylivoimaisesti käytetyin materiaali ruostumattomista teräksistä. Austeniittisten putkien

lämpötila-alue ulottuu rakenneainelaadusta riippuen –270 °C:sta aina 800 °C:seen. Ruostumattomat teräksetkin voivat ruostua, vaikka nimestä voidaan toista todetakin. Ne ovat alttiita muun muassa raeraja-, piste-, jännitys- ja väsymiskorroosiolle. AISI 304 on yleisin ruostumaton teräs ja AISI 316 yleisin haponkestävä teräs. (26, s. 35.) Taulukkoon 5 on lueteltu ruostumattoman teräksen etuja ja haittoja.

TAULUKKO 5. Ruostumattoman teräksen edut ja haitat (26, s. 35)

Edut	Haitat
hyvä korroosiokestävyys hapettavissa olosuhteissa	taipumus jännitys-, piste-, ja piilokorroosioon (erityisesti kloridiliuksissa)
molybdeeniseostettuna korroosiokestäviä myös pelkistävissä olosuhteissa	taipumus raerajakorroosioon hapettavissa happoliuksissa
erinomainen kylmämuokattavuus	huono kestävyys rikki- ja suolahapossa
hyvä sitkeys	suuri tiheys → painava
erinomainen kuumalujuus ja virumiskestävyys	hinta
hyvä hitsattavuus	

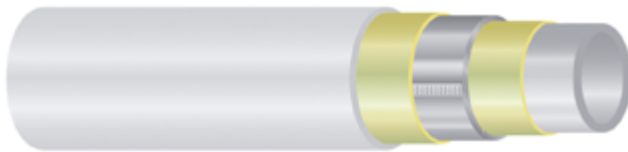


KUVA 11. Ruostumatonta teräsputkea asennettuna (27).

4.3.4 Komposiitti

Komposiitti (kuva 12) on monikerrosmuoviputki, jonka sisä- ja ulkopuolella on polyeteeni-muovikerros. Komposiittiputken ydin on vahvistettu alumiinivaipalla, mikä tekee siitä happidiffusiotiiviin. Rakennekerrokset on liitetty yhteen erikoisliimalla. Komposiittiputkille valittu alumiiniputken paksuus

täyttää kaikki paineluokka- ja taivutettavuusvaatimukset. Komposiittiputken etuna on, että sisäpuolinen PE-muovi on hygieeninen, elastinen ja korroosionkestävä. Alumiinikerros soveltuu pinta-asennuksiin ja se voidaan taivuttaa muotoon. Lisäksi alumiinikerros on happidiffuusiotiivis ja paineenkestävä. Ulkopuolinen PE-muovi on iskutukea, ja sillä on pintavalmius. (28, s. 7.) Puristusliitokset, putken katkaisu ja taivuttaminen tehdään nopeasti erikoistyykaluilla ilman tulitöitä. Putkien liitos- ja puristustekniikan ansiosta komposiittiputken asennus on turvallista, helppoa ja nopeaa. (28, s. 3, 4.)



KUVA 12. Monikerroksisen komposiittiputken rakenne (28, s. 7)

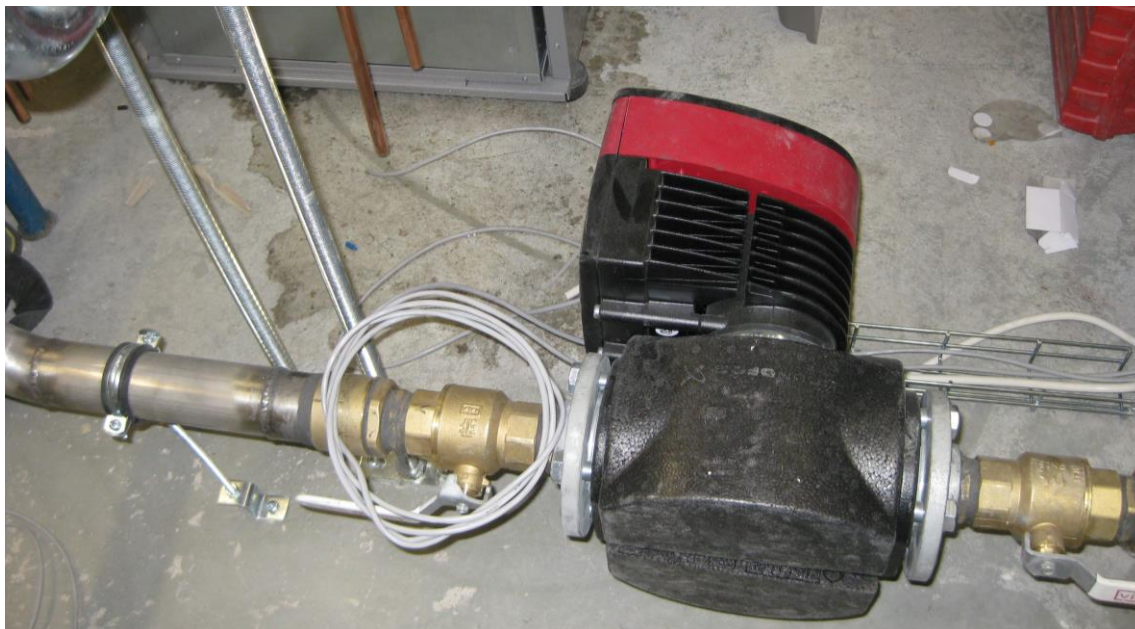
4.4 Liitokset putkistoissa

Liitostapaan vaikuttavia tekijöitä voivat olla esimerkiksi putkimateriaali, putkikoko, väliaine, lämpötila, paine, mahdollisuus tehdä tulitöitä tai tarve irrottaa putkisto tai putkistovaruste tekemättä tulitöitä. Eristettävyyden etenkin jäähdytysputkistoissa on myös liitostavan valintaan vaikuttava tekijä. Lämmönsiirtoainetta sisältävissä putkistoissa suositellut liitostavat ovat hitsaus-, kovajuotos- ja laippaliitos. Kierrelitosten ja kartioyhdistäjien käyttöä ei suositella niiden vuotoherkkyyden takia. Puristusliitostapaa on mahdollista käyttää, mutta silloin tulee varmistaa, että tiivistemateriaalit ovat kemiallisesti kestäviä ja suotautumattomia, esimerkiksi teflon PTFE ja EPDM. (26, s. 30, 82.) Puristusliittimien käyttöalueet vaihtelevat valmistajakohtaisesti, ja niiden soveltuvuus tulee aina varmistaa valmistajalta (28; 29). Tilaajan tietojen ja lähdemateriaalin perusteella laaditusta taulukosta 6 nähdään yleisimmät putkimateriaalit ja niiden liitostavat keruuputkistoissa, jotka sijaitsevat lämmönjakohuoneessa. Yleisin ja luotettavin liitostapa suurissa kohteissa on hitsaus.

TAULUKKO 6. Materiaalit ja liitostavat

Materiaali	Juottaminen	Puristusliitos	Kierreliitos	Hitsausliitos	Laippaliitos	Sähköhitsaus
Kupari	✓	✓	-	-	-	-
HST/RST	-	✓	✓	✓	✓	-
Teräs	-	-	✓	✓	✓	-
Komposiitti	-	✓	-	-	-	-
Muovi	-	-	-	-	✓	✓

Laippaliitosta käytetään komponenttien, kuten pumpun liitoksissa (kuva 13), jotta komponenttien vaihtaminen onnistuu helposti. Komponentit varustetaan myös sulkuventtiileillä molemmiin puolin.



KUVA 13. Liuospumppu laippakiinnityksellä (27)

4.5 Eristykset

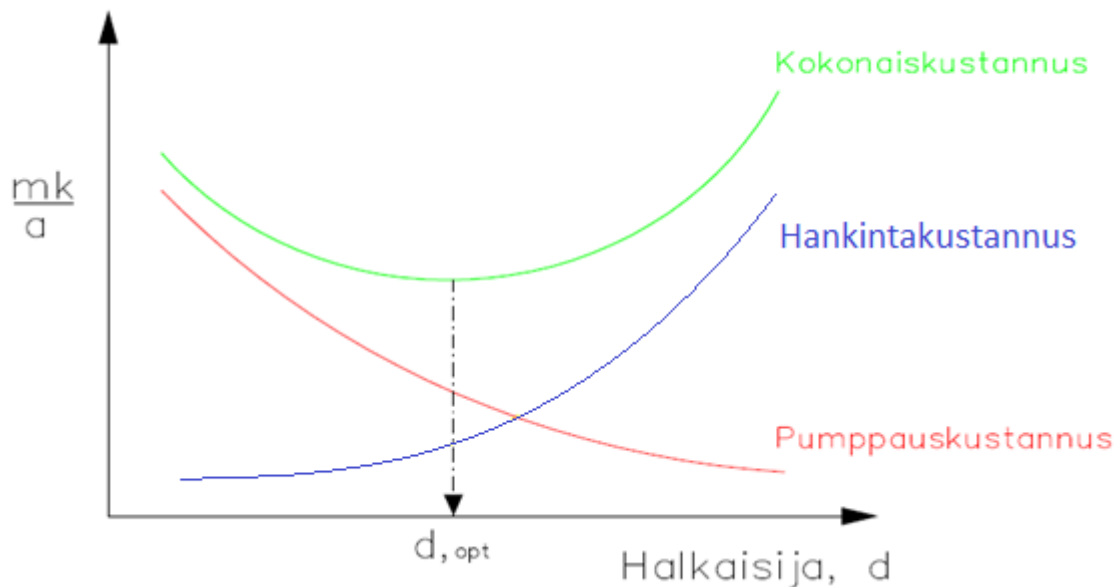
Teknisen eristyksen yksi tehtävä on estää kosteutta tiivistymästä kylmien putkien pintaan, osiin ja laitteisiin suojaamalla sekä eristyskohteet että eristys. Lämmönjakohuoneessa olevien maalämpöputkien mitoitusperusteena käytetään eristyksen pintalämpötilan säilyttämistä ympäristön kastepistettä korkeampana. Tätä kutsutaan kaste- eli kondenssieristykseksi. Maalämpöputkien (kuva 14) eristystunnuksena on Ef (solukumieriste), ja sen paksuutena on 19 millimetriä. (31, s. 14, 15, 33.) Eristysten palonkestävyys voi aiheuttaa lisävaatimuksia eristykselle.



KUVA 14. Ef-eristetty maalämpöputki lämmönjakohuoneessa (27)

5 KERUUPIIRIN PUTKISTO JA LIUOSPUMPUN MITOITUS

Putkikoon mitoituksessa pyritään löytämään optimiratkaisu hankinta- ja käyttökustannusten minimoimiseksi. Mitä suurempi putkikoko on, sitä korkeampi on hankintakustannus. Käyttökustannukset ovat pienemmät, koska pumppaukseen kuluva energia on pienempi. Kuvassa 15 on havainnollistettu kustannusten vaikutusta toisiinsa sekä putkihalkaisijan optimipisteen sijaintia. (32, s. 147.)



KUVA 15. Optimiputkikoon valitseminen (32, s. 147, muokattu)

5.1 Mitoituskriteerit

Virtausnopeus putkessa ei saa nousta liian suureksi melun ja eroosiokorroosion vuoksi. Putkivirtauksen nopeuden ylärajana pidetään 1,5–3,0 m/s ja alarajana 0,3 m/s, jotta kaasukuplat kulkeutuvat pois. Kupariputkissa enimmäisnopeutena on 1,5 m/s ja muoviputkissa nopeus putkessa voi olla jopa 3,0 m/s. (32, s. 147.) Nopeus putkessa lasketaan kaavalla 3.

$$v = \frac{q_v}{A_p}$$

KAAVA 3

v = nopeus [m/s]

q_v = fluidin virtaama [m^3/s]

A_p = putken pinta-ala [m^2]

Kitka- ja kertahäviöt ovat putkistoissa esiintyviä häviöitä. Virtaavan fluidin ja putken seinämän väliin muodostuu kitkaa, jota kutsutaan kitkapainehäviöksi. (33, s. 25.) **Kitkapainehäviö** on verrannollinen putken pituuteen, nopeuden toiseen potenssiin ja kääntäen verrannollinen halkaisijan kolmannen potenssiin. Lisäksi painehäviö riippuu putken sisäpinnan karheudesta ja nesteen ominaisuuksista, mutta se ei riipu paineesta. (32, s.137.)

Putkimitoitus suoritetaan laskemalla kitkapainehäviö metriä kohden. Sen yksikkö on Pa/m, ja siitä käytetään myös nimitystä hankausvastus. Vesikiertoisessa patterilämmityksessä putket mitoite-
taan kitkapainehäviöillä 50–75 Pa/m, mutta mikäli putkiosuudet tai niiden osuus putkiston painehä-
viöissä ei ole merkittävä, putkien painehäviöiksi sallitaan 100 Pa/m (34, s. 6). Kaukolämmitysput-
kien (ensiöpuoli) hitsattavien teräsputkien mitoituksen perustana on 500 Pa/m, mikäli lämmönjako-
keskus on lähellä mittauskeskusta (35, s. 20). Kitkapainehäviö saadaan laskettua kaavalla 4 (32,
s. 137).

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{d_s} \frac{1}{2} \rho v^2$$

KAAVA 4

λ = kitkakerroin

L = putken pituus [m]

d_s = sisähalkaisija [m]

ρ = fluidin tiheys [kg/m³]

v = fluidin nopeus [m/s]

Kitkakertoimen selvittämiseen joudutaan laskemaan ensimmäiseksi Reynoldsin luku (kaava 5), joka kuvaa, onko virtaus laminaarista vai turbulenttista. Reynoldsin luvun jäädessä alle 2320 voi-
daan karkeasti virtausta pitää laminaarisena, ja luvun ollessa yli 2320 virtausta voidaan pitää tur-
bulenttisena. (33, s.18.)

$$R_e = \frac{v \times d_s}{\nu}$$

KAAVA 5

v = nopeus [m/s]

d_s = putken sisähalkaisija [m]

ν = kinemaattinen viskositeetti [m²/s]

Kitkakerroin laminaariselle virtaukselle voidaan laskea kaavalla 6 (33, s. 26). Lämmönjakohuoneessa lämmönkeruuputkiston virtaus voi olla laminaarista, koska lämmönsiirtoa ei enää tapahdu.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{KAAVA 6}$$

Kitkakerroin turbulenttiselle virtaukselle voidaan laskea kaavalla 7 (36, s. 191). Lämmönkeruuputkiston virtaus tulee olla turbulenttista energiakaivoissa, jotta lämmönsiirtokyky on hyvä.

$$\lambda = 0,25 / \left[\lg \left[\frac{k/d}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right] \right]^2 \quad \text{KAAVA 7}$$

λ = kitkakerroin

k = putken karheus [mm]

d = putken halkaisija [mm]

TAULUKKO 7. Putkimateriaalien karheuslukuja (32, s. 139; 33, s. 27 muokattu)

Putkimateriaali	Karheus ϵ (mm)
Vedetty messinki tms. putki	0,0015
Kupari	0,0013
PVC- ja PE-putket	0,007
Teräsputki	0,045
Sinkitty teräsputki	0,15
Ruostunut teräsputki	0,15–1,0
Hyvin ruostunut teräsputki	1.0–3,0
Valurautaputki	0,4–0,6
Bitumoitunut valurautaputki	0,125
Joustava putki	0,6–0,8

Teräsputkien sisähalkaisijaa kuvataan nimellismitan mukaan, jota kuvataan DN-suureella. Nimellismita kertoo putken sisähalkaisijan mutta ei ole tarkalleen se. (32, s.124.) Teräsputkien ja muiden putkien kokotaulukot ovat liitteessä 1.

5.2 Kokonaispainehäviö

Putkiston kokonaispainehäviö muodostuu kitkapainehäviön ja kertapainehäviön summasta. Kertapainehäviöt johtuvat putkiston erilaisista rakenneosista, joita ovat esimerkiksi putkien mutkat, T-kappaleet, haarat, supistukset, laajennukset ja venttiilit. (33, s. 29.) Kertavastusten aiheuttama painehäviö saadaan laskettua kaavalla 8.

$$\Delta p = \xi \frac{\rho v^2}{2} \quad \text{KAAVA 8}$$

ξ = kertavastuskerroin

ρ = tiheys [kg/m³]

v = nopeus [m/s]

TAULUKKO 8. Kertavastuskertoimia eri osille (32, s. 141; 33, s. 30–31 muokattu)

Osa	Vastuskerroin
Putkimutka	0,5
Putken laajennus	1
Putken supistus	0,5
Venttiilit	~3

Etanoli-vesiliuoksen tiheys ja kinemaattinen viskositeetti voidaan laskea kaavoilla 9, 10 ja 11, kun liuoksen lämpötila ja etanolin painoprosenttiosuus ovat tiedossa. Liitteessä 2 on etanoli-vesiliuoksen aineominaisuudet taulukot. (26, s. 142–143, 217.)

$$\rho = 987,8132 + 0,4205762 * T - 1,5016 * 10^{-2} - 4,0273 * 10^{-6} * T^3 - 9,0771 * x - 2,4229 * 10^1 * x^2 + 58,59776 * x^3 - 3,9852 * T * x + 3,200024 * T * x^2 + 0,05253268 * T^2 * x - 4,6783 * 10^2 * x^2 \quad \text{KAAVA 9}$$

ρ = tiheys [kg/m³]

T = liuoslämpötila [°C]

x = painoprosentti (0,11–0,601)

$$nu = -2,7723 - 1,9878 * 10^{-2} * T + 2,9640 * 10^{-4} * T^2 - 6,9587 * 10^{-7} * T^3 + 3,6085 * x - 6,0183 * x^2 + 2,63869 * x^3 - 2,6785 * 10^{-2} * T * x + 0,04898696 * T * x^2 - 4,0447 * 10^{-4} * T^2 * x + 2,1364 * 10^{-4} * T^2 * x^2 \quad \text{KAAVA 10}$$

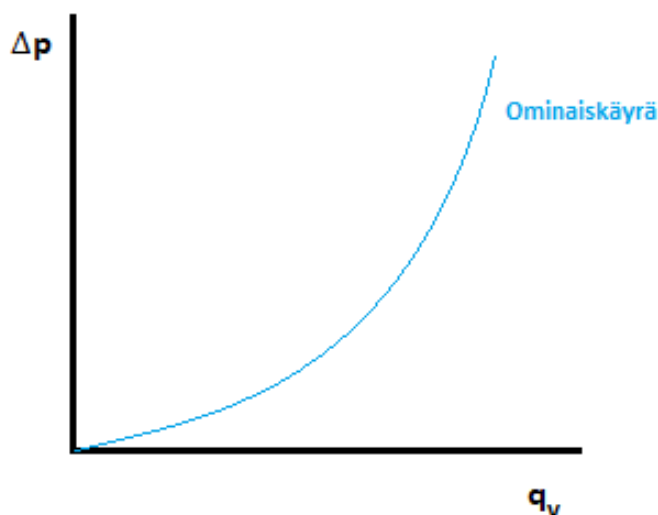
$$v = 10^{-3} * 10^{nu} \quad \text{KAAVA 11}$$

v = kinemaattinen viskositeetti

5.3 Keruupiirin pumpun mitoitus

Maalämmön keruupiirin pumpppua kutsutaan liuospumpuksi. Keruupiirin kokonaispainehäviön laskeminen on tärkeää, koska muuten maalämpöpumpussa voi ilmetä ongelmia. Väärin mitoitettu pumpppu voi aiheuttaa höyrystymislämpötilan laskua, jolloin höyrystyminen heikkenee ja kompressorin imupaine laskee. Alitehoinen liuospumpppu heikentää liuospiirin virtaamaa ja lämmön tuloa, mikä johtaa liuospiirin lähestymisen kohti jäähmepistettä, kunnes lämmön siirtyminen tyrehtyy ja imupaineekytkin pysäyttää kompressorin. (23, s. 5.)

Maalämmön keruupiiri on niin sanottu suljettu piiri. Suljetun piirin ominaiskäyrä (kuva 16) on paraabeli, joka lähtee aina origosta, koska suljetussa piirissä ei ole vastapainetta eikä korkeuserosta johtuvaa paine-eroa. (37, s. 45–46.)



KUVA 16. Putkiston ominaiskäyrä (37, s. 46 muokattu)

Putkiston ominaiskäyrä muodostuu virtausvastuksista (kitka- ja kertavastukset), jotka ovat verrannollisia virtaaman toiseen potenssiin. Ominaiskäyrä muodostuu kaavan 12 mukaan. (37, s. 45.)

$$\Delta p = k * q_v^2$$

KAAVA 12

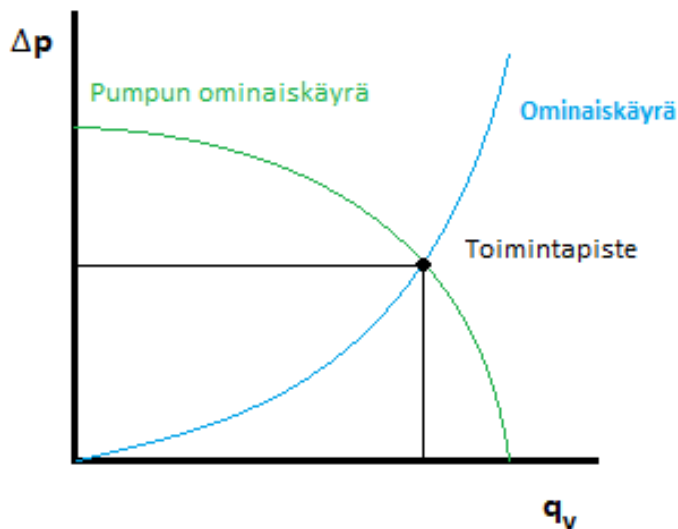
k = kulmakerroin

Kulmakerroin lasketaan kaavalla 13, kun virtaama ja kokonaispainehäviö ovat tiedossa.

$$k = \frac{\Delta p}{q_v^2}$$

KAAVA 13

Pumpun toimintapiste muodostuu pumpun ja putkiston ominaiskäyrien leikkauspisteestä (kuva 17). Se kuvaa nostokorkeutta ja virtamaa, jolla pumppu tietyssä verkostossa toimii. (37, s. 44.)



KUVA 17. Pumpun toimintapiste (37, s. 45)

Pumpun valinta tehdään niin, että sen ominaiskäyrä kulkee halutun toimintapisteen kautta, jolloin saavutetaan tarvittava tilavuusvirta ja voitetaan putkiston vastukset. Pumpun ominaiskäyrää voidaan muuttaa muuttamalla pumpun pyörimisnopeutta tai juoksupyörän halkaisijaa. Pumppu pyritään valitsemaan aina niin, että saavutetaan mahdollisimman hyvä hyötysuhde, jolloin sähkötehon tarve on mahdollisimman pieni, mikä pienentää käyttökustannuksia. (37, s. 46, 70.)

Pumppauksen tehontarve lasketaan kaavalla 14. Tehontarpeeseen vaikuttavat ainemäärän suuruus, tarvittava nostokorkeus (painehäviö) sekä laitteistojen hyötysuhteet. (37, s. 22.)

$$Tehontarve = \frac{P_v}{\eta} \quad \text{KAAVA 14}$$

P_v = virtauksen tarvitsema teho

η = kokonaishyötysuhde

Virtauksen tarvitsema teho lasketaan kaavalla 15, kun virtaama ja nostokorkeus ovat tiedossa (37, s. 22).

$$P_v = q_v * \Delta p_{kok} \quad \text{KAAVA 15}$$

LINJA 1

DN	40	
virtaama	2,5	l/s
Suoraa putkea	30	m
Käyrä 90°	4	kpl
T-haaroja	1	kpl
Supistuosia		kpl
Sulkuventtiilejä	2	kpl
Linjasäätöventtiilejä		kpl
Yksisuuntaventtiilejä	1	kpl

Kertavastus	yht
0,50	2,0
0,50	0,0
3,00	6,0
3,00	0,0
3,00	3,0
	11,0

Materiaali	DN	d _s	L	κ	q _s	d _s	v	R	P _s	R _L	Z	ΔP	R _s	λ
	mm	mm	m		l/s	mm	m/s	Pa/m	Pa	kPa	kPa	kPa		
Musta kierre	40	48,3	30	11,0	2,50	41,9	1,61	1214,1	1585,9	36,42	17,4	53,9	10985	0,032
Musta hits	40	48,3	30	11,0	2,50	43,1	1,71	1059,5	1416,5	31,78	15,6	47,4	10679	0,032
HSTmapress	40	42	30	11,0	2,50	39	2,09	1717,1	2112,9	51,51	23,2	74,8	11802	0,032
HST kierre	40	48,3	30	11,0	2,50	41,9	1,61	1214,1	1585,9	36,42	17,4	53,9	10985	0,032
HST s=2,0	40	48,3	30	11,0	2,50	44,3	1,62	928,2	1269,2	27,84	14,0	41,8	10390	0,032
RST kierre	40	48,3	30	11,0	2,50	41,8	1,62	1228,2	1601,2	36,85	17,6	54,5	11011	0,032
RST s=2,0	40	48,3	30	11,0	2,50	44,3	1,62	928,2	1269,2	27,84	14,0	41,8	10390	0,032
Kupari	40	42	30	11,0	2,50	39	2,09	1617,3	2112,9	48,52	23,2	71,8	11802	0,030
Komposiitti	40	50	30	11,0	2,50	41	1,85	1279,5	1729,8	38,39	19,0	57,4	11226	0,030
Muovi	40	50	30	11,0	2,50	26	4,71	11209,2	10696,6	336,28	117,7	453,9	17702	0,027

KUVA 19. Putkien mitoitus

Sovellukseen asetettu kitkapainehäviön raja-arvo (kuva 20) on 30–500 Pa/m, jolloin painehäviöt eivät kasva vielä liian suuriksi, koska putkilinjat lämmönjakohuoneessa ovat lyhyitä. Tällöin liuoksen maksiminopeus on noin 1,5 m/s. Maksimi kitkapainehäviö on 600 Pa/m. Liuoksen maksiminopeudeksi on rajattu 2,0 m/s vaikka todellisuudessa muut putket kestävät suurempia virtausnopeuksia paitsi kupari. Miniminopeudeksi on rajattu 0,3 m/s.

Sääntö (käytetään esitettyssä järjestyksessä)	Muotoile
Solun arvo väliltä 500 - 600	AaBbCcÄäÖö
Solun arvo väliltä 30 - 500	AaBbCcÄäÖö
Solun arvo väliltä 600 - 100000	AaBbCcÄäÖö
Solun arvo väliltä 0 - 30	AaBbCcÄäÖö

KUVA 20. Kitkapainehäviön raja-arvot

Sovelluksessa voidaan laskea yhtäaikaisesti neljästä eri linjasta kokonaispainehäviöt (kuva 21).

LINJA 1															LINJA 2														
DN 25															DN 25														
virtaus 0,7 l/s															virtaus 0,7 l/s														

alan työehtosopimuksen 2014–2017 mukaiset normituntiajat (kuva 23) eri putkimateriaaleista ja liitostavoista (38, s. 99–100). Tilaajan pyynnöstä myös käyrille ja T-haaroille laskettiin normitunnit, koska lämmönjakohuoneessa voi olla osia paljon suhteessa suoraan putkeen. Lisäksi huomioidaan työehtosopimuksen vaativuuslisät RST/HST-hitsattaville putkille sekä konehuoneessa työskentelelle (38, s. 94).

Kattila, lämmönjako-, pumppu- ja ilmastointikonehuoneissa lisä	30	%
Vaativuuslisä RST ja HST putkille hitsattaessa	10	%
Vaativuuslisä RST ja HST putkille suojakaasulla hitsattaessa	20	%

Metalliputket ja hitsattavat teräsputket			
Sarake	1	2	3
Ulkohalkaisija Du	Hitsattavat NH/m	Kierrellitöksiin NH/m	Puristamalla NH/m
- 22	0,40	0,40	0,30
- 35	0,50	0,45	0,34
- 54	0,55	0,50	0,38
- 64	0,60	0,55	0,41
- 76,1	0,65	0,60	0,45
- 88,9	0,70	0,65	0,49
- 114,3	0,80	0,70	0,53
- 139,7	0,90	0,80	
- 168,3	1,10	0,90	
- 219,1	1,30	1,10	
- 273	1,50	1,30	
- 323,9	1,60	1,50	
- 355,6	1,70	1,60	
- 406,4	2,00	1,70	
- 508	2,20	2,00	

Kupariputket ja komposiittiputket			
Sarake	1	2	3
Ulkohalkaisija	Sisälle	Sisälle	Sisälle
Du	NH/m	NH/m	NH/m
- 22	0,38	0,30	0,30
- 35	0,43	0,34	0,35
- 54	0,50	0,40	0,40
- 64	0,55	0,44	0,44
- 76,1	0,60	0,48	0,48
- 88,9	0,65	0,52	0,52
- 114,3	0,70	0,56	0,56
- 139,7	0,80	0,64	0,64
- 168,3	0,90	0,72	0,72

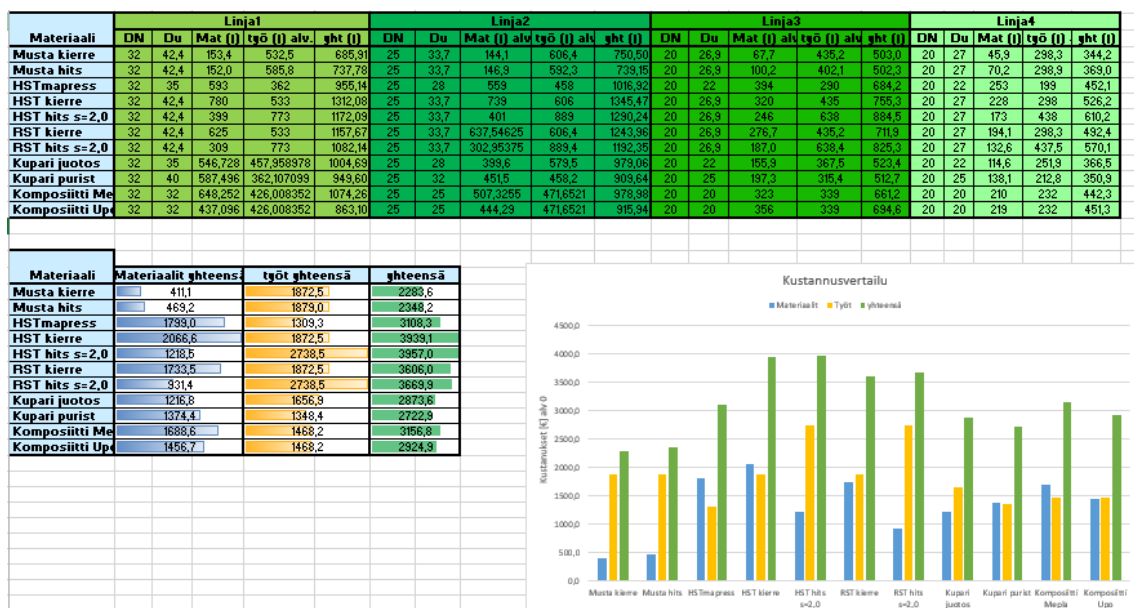
KUVA 23. Normitunnit

Työn tuntihinta (kuva 24) muodostuu työehtosopimuksen putki- ja ilmastointialan normituntikertomesta 16,13 €/NH sekä päivärahasta, joka on 10,00 € yhdeltä päivältä (38, s. 12, 42). Normituntikertomiseen lisätään myös sosiaalikulutukset sekä kateprosentti.

Veroton	32,60	€/NH
Työkate	10,00	%
Työhinta	29,64	

KUVA 24. Työn normituntihinta

Kustannusvertailua (kuva 25) voidaan suorittaa materiaaleille sekä työhinnoin. Työstä aiheutuvat kustannukset muodostuvat, kun normituntikerroin (€/NH) kerrotaan normitunneilla (NH).



KUVA 25. Kustannusvertailua

Sovellukseen voidaan syöttää kullekin putkimateriaalille erikseen osaprocentti (kuva 26), joka kasvattaa materiaalikustannusten hintaa. Osaprocentti osuuden tulee kattaa tarvittavat kannakkeet, materiaalihukan ja asentamiseen kuluvat muut tarvikkeet ja osat.

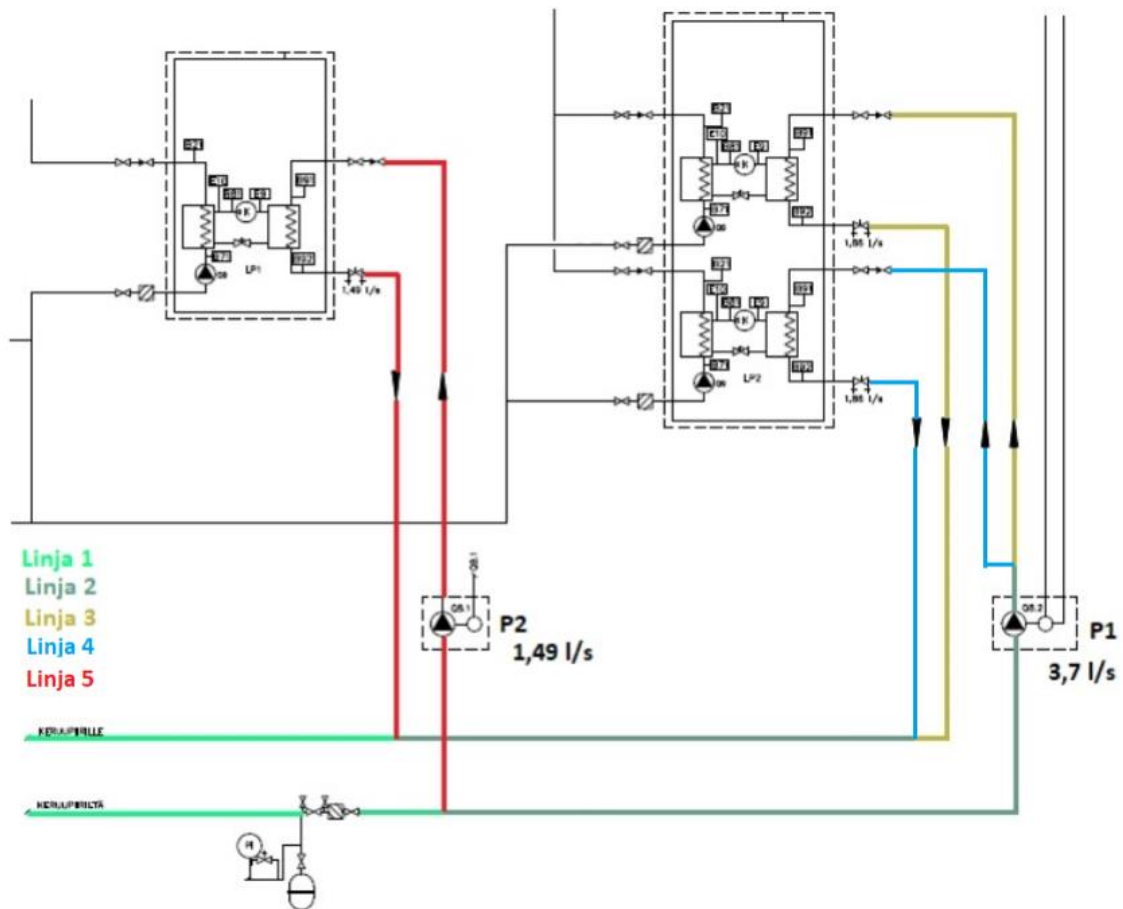
Materiaali	Osa %
Musta kierre	25
Musta hits	25
HSTmapress	25
HST kierre	25
HST hits s=2,0	25
RST kierre	25
RST hits s=2,0	25
Kupari juotos	25
Kupari purist	25
Komposiitti	50

KUVA 26. Osaprocentti

7 ESIMERKKIKOHDE

7.1 Putkimitoitus

Putkimitoitus ja kustannusvertailu havainnollistetaan esimerkkikohteeseen. Kuvassa 27 on kohteen kytkentäkaavio, jonka virtausvastuksiltaan vaikein verkosto sisältää linjat 1–3.



KUVA 27. Kytcentäkaavio esimerkkikohteesta

Kustakin linjasta syötetään virtaama Excel-sovellukseen, jolloin putkien mitoitus voidaan suorittaa. Linjojen virtaamat ja mitoitettut putket näkyvät kuvassa 28, kun kitkapainehäviön maksimiarvona on 600 Pa/m.

Linja	q _v (l/s)	DN
Linja 1	5,29	65
Linja 2	3,7	65 (50)
Linja 3	1,85	50 (40)
Linja 4	1,85	50 (40)
Linja 5	1,49	40

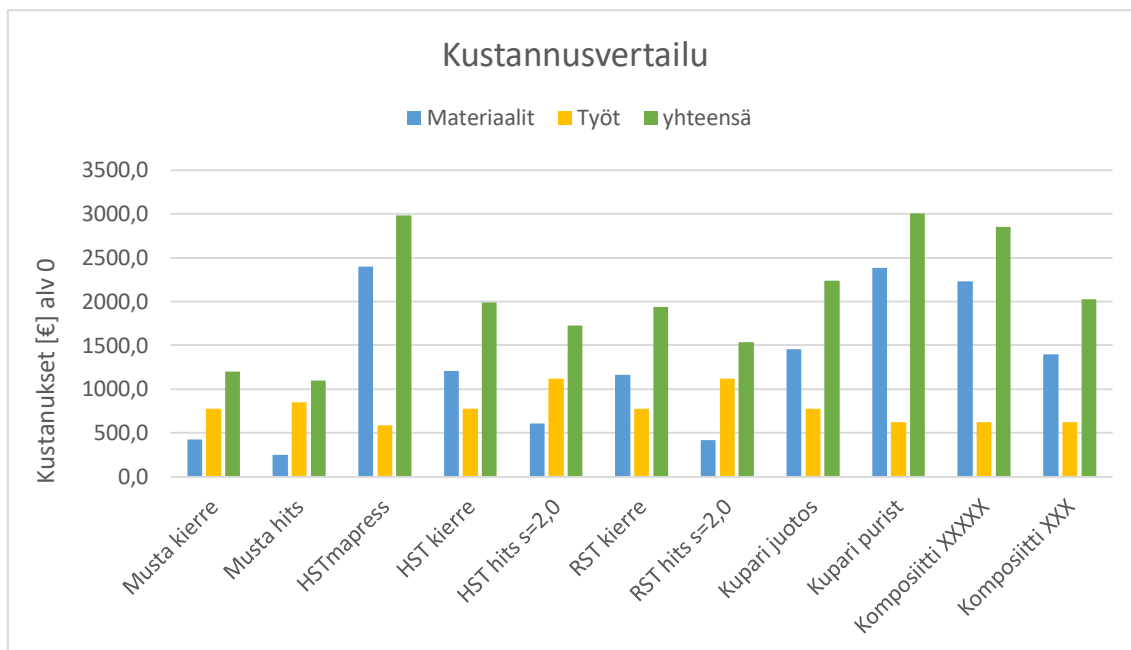
KUVA 28. Mitoitettut putket esimerkkikohteesta

Linjojen 2,3 ja 4 putkikoot voivat olla myös suluissa olevat, mikäli materiaalina käytetään HST/RS- putkia, kun seinämävahvuus on 2,0 millimetriä. Tällöin kitkapainehäviö on vielä alle 600 Pa/m.

7.2 Kustannusvertailu

Esimerkkikohteesta arvioidaan linjojen metrimäärät sekä putkikäyrät. T-haarat ja venttiilit nähdään kytkentäkaaviosta ja syötetään nämä sovellukseen, jolloin kustannusvertailua voidaan suorittaa.

Kustannusvertailussa (kuva 29) nähdään, että teräsputkella kokonaiskustannus tulee halvimmaksi, mutta sen soveltuvuus ei ole niin hyvä etanoli-vesiliuoksen kanssa kuin muilla putkimateriaaleilla. Koska putkilinjat ovat lämmönjakohuoneessa lyhyitä ja osia on vähän, eivät kokonaiskustannukset kasva suuriksi. Kustannusvertailussa on kuitenkin nähtävissä suuria eroja materiaalihinnoissa; etenkin puristusosat ovat kalliita suhteessa hitsaus- ja juotosmateriaaleihin. Työn kustannukset ovat puristusliitoksilla halvimmat, mutta materiaalikustannukset kasvattavat kokonaiskustannukset korkeiksi.



KUVA 29. Kustannusvertailua esimerkkikohteesta

7.3 Pumpun valinta

Valitaan putkimateriaaliksi RST ja liitostavaksi hitsaus. Kokonaispainehäviö ”vaikeimmasta” linjasta saadaan, kun höyrystimen ja energiakentän painehäviöihin lisätään linjojen 1–3 painehäviö. Höyrystimen painehäviöksi asetetaan 30 kPa. Energiakentän painehäviöksi kauimmasta kaivosta (kuva 30) on laskettu 107 kPa, kun kertavastusten aiheuttama painehäviö arvioidaan lisäämällä 6 prosenttia kitkapainehäviöihin. Etanoli-vesiliuoksen kinemaattiseksi arvoksi sovelluksella lasketaan $6,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ja tiheydeksi $967,56 \text{ kg/m}^3$.

Energiakentän painehäviö		Du	L	$\Sigma \zeta$	q_v	d_s	v	R	P_d	R^*L	Z	ΔP	R_e	λ
			m		l/s	mm	m/s	Pa/m	Pa	kPa	kPa	kPa		
Muovi PEM	Energiakaivo	40	570		0,47	35,2	0,48	151,2	112,8	86,21	0,0	86,2	2549	0,047
	linja2	40	44		0,47	35,2	0,48	151,2	112,8	6,65	0,0	6,7	2549	0,047
	linja3	90	16		5,29	79,2	1,07	205,5	557,8	3,29	0,0	3,3	12749	0,029
	linja4	90	100		2,35	79,2	0,48	50,8	110,1	5,08	0,0	5,1	5663	0,037
												101,2		
Kertavastuskerroin											1,06	107,3	kPa	

KUVA 30. Energiakentän painehäviö

Lisäksi varataan linjasäätöventtiilille 3 kPa, jolloin kokonaispainehäviöksi saadaan 162 kPa, kun linjojen 1-3 painehäviöksi lasketaan 22 kPa. Pumpun P1 valinta suoritetaan virtaamalla $3,7 \text{ l/s}$ ja nostokorkeudella 162 kPa. Grundfos-valintaohjelmaan (39) syötetään nesteeksi etanoli ja sen

painoprosenttiosuudeksi 28 sekä käyttölämpötilaksi 0 °C, jolloin P1 pumpuksi valitaan Grundfos-valintaohjelmalla NBE 50–125/121 (liite 3).

P2-pumpun nostokorkeus saadaan, kun linjojen 1 ja 5 painehäviöt yhdistetään ja lisätään tähän energiakentän, höyrystimen ja linjasäätöventtiilin painehäviöt. Kokonaispainehäviöksi saadaan 158 kPa ja virtaamaksi 1,49 l/s. Grundfos-valintaohjelmalla pumpuksi valitaan NBE 40–125/116 (liite 4).

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää maalämpöurakan tarjouslaskentavaihetta, jolla nopeutetaan sekä helpotetaan tarjouslaskentaa. Opinnäytetyössä luotiin Excel-sovellus, jonka avulla putket voidaan mitoittaa lämmönjakohuoneessa ja saadaan tarkat painehäviöt laskettua lämmönkeruuputkissa. Tarkkojen painehäviöiden avulla varmistutaan oikeasta pumpun mitoituksesta. Excel-sovelluksella voidaan suorittaa myös kustannusvertailua eri putkimateriaaleille sekä liitostavoille.

Opinnäytetyössä käsiteltiin maalämpöä yleisellä tasolla sekä putkimateriaalien yhteensopivuuksia maalämpökoneiston liuospiirissä. Putkimateriaalien liitostapoja tarkasteltiin myös ja huomattiin että kaikki liittimet/tiivisteet eivät ole aina sopivia liuospiirissä. Työn haastavin osuus oli Excel-sovelluksen tekeminen, etenkin hinnaston luominen putkimateriaaleille. Haasteena jatkossa on putkimateriaalien hintojen muuttuminen ja näiden sovittaminen Excel-sovellukseen. Haasteita tuotti myös vähäinen lähdemateriaali mitoituskriteereistä eri putkistoille.

Opinnäytetyötä tehtäessä saatiin tietoa kannattavimmasta putkimateriaalista ja työskentelytavasta Excel-sovelluksen avulla. Puristusliitosten käyttäminen suurissa putkissa ei ole kannattavaa kalliiden osien takia. Myös suurien puristusosien saatavuus on haastavampaa. Kannattavimmiksi materiaaleiksi suurissa putkihalkaisijoissa osoittautuivat HST ja RST. Pienissä putkihalkaisijoissa putkimateriaalin kannattavin vaihtoehto vaihtelee suoran putken ja osien määrien mukaan. Opinnäytetyön lopputuloksena laaditusta Excel-sovelluksesta saadaan tarkat painehäviöt laskettua lämmönkeruupiiristä. Tarkkojen painehäviöiden avulla varmistutaan pumpun nostokorkeudesta ja välttään väärältä pumpun mitoitukselta.

Sovelluksella saadaan kattavasti tietoa, jota voidaan hyödyntää maalämpöurakan tarjouslaskentavaiheessa. Opinnäytetyössä olisi voinut suorittaa eri mitoituskriteereillä putkimitoituksen ja vertailla, muuttuvatko putkikoot ja tuleeko muutoksia kustannuksiin ja liuospumpun tehontarpeeseen. Sovellusta voidaan jatkossa hyödyntää esimerkiksi lämmitysverkoston putkimitoittamiseen sekä kustannusvertailuun. Tällöin tulee vaihtaa tiheys ja kinemaattinen viskositeetti veden ominaisuuksien mukaan sekä huomioida eri mitoituskriteerit. Sovellusta voidaan jatkossa kehittää asettamalla hintoja myös muista putkiosista, kuten venttiileistä ja eri kannakkeista.

LÄHTEET

1. Yritys. 2018. Näsin Vesijohtoliike Oy. Saatavissa: <https://www.nasinvesijohtoliike.fi/yritys/>. Hakupäivä: 25.4.2018.
2. Lämpöä omasta maasta-opas maalämmöstä. 2012. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf. Hakupäivä 25.2.2018.
3. Geoenergia. Geologian tutkimuskeskus. Saatavissa: <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/>. Hakupäivä 12.3.2018.
4. Juvonen, Janne – Lapinlampi, Toivo 2013. Energiakaivo – Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4. Hakupäivä 25.2.2018.
5. Maaperä lämmön lähteenä. 2018. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/maapera-lammon-lahteenä>. Hakupäivä 25.2.2018.
6. Niskala, Mikko 2016. T660303. Lämmitystekniikka 3, luennot 4 op. Lämmitystekniikan opintomateriaali syksyllä 2016. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
7. Lauttamäki, Ville – Kallio, Jarmo 2013. Geoenergiasta liiketoimintaa. Perusteluja geoenergian hyödyntämiselle erilaisissa rakennuskohteissa. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 206 – Geological Survey of Finland, Report of Investigation 206, 2013. Saatavissa: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_206.pdf. Hakupäivä 26.1.2018.
8. Yleistä lämpöpumpuista. 2018. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry, SULPU. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Yleista-lämpöpumpuista-SULPU.pdf>. Hakupäivä 26.1.2018.
9. Perälä, Osmo – Perälä, Rae 2013. Lämpöpumput 3. uudistettu painos. Helsinki: Alfa-mer/Karisto Oy.

10. Hakala, Pertti – Kaappola, Esko 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus. Tampere: Juvenes Print-Suomen Yliopistopaino Oy.
11. Lämpöpumppujen merkitys ja tulevaisuus. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry, SULPU. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Lampopumppujen-merkitys-ja-tulevaisuus-SULPU.pdf>. Hakupäivä 26.1.2018.
12. Lämpöpumppumyynti 2017, kappaleina eri lämpöpumpputyypeille. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry, SULPU. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/documents/184029/0/La%CC%88mpo%CC%88pumpputi-lasto%202017%2C%20kpl%20ja%20kuvaajat%20lehdist%C3%B6tiedotteeseen.pdf>. Hakupäivä 3.3.2018.
13. Vettenranta, Jukka 2017. Combi Cool Talvipäivät 2017. Luentomateriaali.
14. Kapanen, Mika 2017. Suomen Kylmäyhdistys ry. Kylmäainetilanne 2017. Saatavissa: <http://www.skli.fi/www/att.php?type=2&id=305>. Hakupäivä 22.4.2018.
15. Ilmalämpö- ja maalämpöpumput. 2016. Energiatehokas koti. Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo-ja_maalampopumput. Hakupäivä: 27.1.2018.
16. Oulun rakennusvalvonnan laatukortit. Maalämpö – Koskee energiakaivoja tai maapiirejä hyödyntäviä järjestelmiä. 2018. Oulun kaupunki.
17. Harju, Pentti 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. 4. painos. Anjalankoski: Penan Tieto-Opus Ky.
18. Suutari, Tero 2018. COP vs. SCOP – hyötysuhteiden erot. Blogi. Nilan Suomi Oy. Saatavissa: <https://blog.nilan.fi/cop-scop-hyotysuhteiden-erot>. Hakupäivä: 12.2.2018.

19. Maalämpöpumppu, MLP. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampo-pumppu_mlp. Hakupäivä 12.2.2018.
20. Aittomäki, Antero 2012. Kylmäteknikka. 4 painos. Porvoo: Bookwell Oy.
21. RIL 265-2014. 2014. Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
22. Huusko, Asmo 2014. Energiakaivokentän mitoituksen periaatteet. Koulutuspäivät 2014. Suomen kylmäyhdistys ry.
23. LVI 11–10332. 2002. Lämpöpumput, LVI-ohjekortisto. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10332.html.stx> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä: 12.2.2018.
24. Lämpökaivo. 2018. Geodrill. Saatavissa: <https://www.geodrill.fi/maalampo/lampokaivo/>. Hakupäivä 12.2.2018.
25. Maalämpöputki. 2018. Smartia Oy. Saatavissa: <https://www.smartia.fi/maalampoputki-40mm-x-400m-pn84007.html>. Hakupäivä 24.2.2018.
26. Aittomäki, Antero 2001. Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu, energia- ja prosessiteknikka.
27. Leikkainen, Janne 2018. Oma valokuva-arkisto.
28. Komposiittijärjestelmä käsikirja. 2010. Uponor Suomi Oy. Saatavissa: <https://www.uponor.fi/UponorInternet/DirectDownload?did=CD161FCE39DB4F7BB1B5C59C41C4E4D1>. Hakupäivä 2.4.2018.
29. Geberit Oy. 2018. Online tuotekatalogi. Geberit Mepla, Sovelluksien yleiskatsaus. Saatavissa: https://catalog.geberit.com/File_Container/Overview_Tables/fi-FI/DAS_157955.pdf. Hakupäivä 2.4.2018.

30. Kupariputket käsikirjan digitaalinen versio. 2018. Putkituotteiden ja liitosmenetelmien valinta. Saatavissa: https://www.koppar.com/kopparror_fi/koppar/frame.html. Hakupäivä 2.4.2018.
31. Mäkelä, Simo - Itäpalo, Esko 2014. Teknisen eristäjän käsikirja. Opetushallitus. Tampere: Juvenes Print-Suomen Yliopistopaino Oy.
32. Seppänen, Olli 2001. Rakennusten lämmitys. 2.painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
33. Yli-Kunnari, Jukka 2016. T630203 Virtaustekniikka, luennot 3 op. Virtaustekniikan opintomoniste keväällä 2016. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
34. LVI 12–10343. 2002. Vesikiertoinen patterilämmitys, LVI-ohjekortisto. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10343.html.stx> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 2.4.2018.
35. K1/2013. Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Energiateollisuus ry. Saatavissa: https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf. Hakupäivä 8.4.2018.
36. Miller, Donald Stuart 1990. Internal Flow Systems (second edition). BHRA (Information Services). Saatavissa: <http://www.md12179trialdocs.com/releases/release201311071200013/TREX-130713.PDF>. Hakupäivä 10.4.2018.
37. Mäkelä, Veli-Matti 2016. T350403 Koneoppi 1, luennot 3 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2016. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
38. Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimus 2014–2017. Helsinki: LVI-Tekniset Urakoitsijat LVI-TU ry ja Rakennusliitto ry.
39. Grundfos. Pumpun mitoitus- ja valintaohjelma. Saatavissa: <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?custid=GSF&qcid=342743307>. Hakupäivä: 24.4.2018.

PUTKIEN KOKOTAULUKOT

LIITE 1/1

Kupariputket kokotaulukko

Suorat normaaliseinämaiset kupariputket (SFS 2250, SFS 2907)

DN	d _u	d _s
8	12	10
10	15	13
15	18	16
20	22	20
25	28	25,6
32	35	32
40	42	39
50	54	51
	64	60
65	76,1	72,1
80	88,9	84,9
100	108	103

Suorien putkien normaalipituus on 5,5 metriä.

Hitsattavat teräsputket

Normaaliseinäinen teräsputki (saumaton)

DN	d _u	d _s
10	17,2	13,2
15	21,3	17,3
20	26,9	22,3
25	33,7	28,5
32	42,4	37,2
40	48,3	43,1
50	60,3	54,5
65	76,1	70,3
80	88,9	82,5
100	114,3	107,1
125	139,7	132,5
150	168,3	160,3
200	219,1	210,1

Putkia valmistetaan useista eri materiaaleista ja useilla eri seinämäpaksuuksilla.

PUTKIEN KOKOTAULUKOT

LIITE 1/2

Ruostumattomat ja haponkestävät teräsputket

Hitsattavat putket, s=2,0mm

DN	d _u	d _s
10	17,2	13,2
15	21,3	17,3
20	26,9	22,9
25	33,7	29,7
32	42,4	38,4
40	48,3	44,3
50	60,3	56,3
65	76,1	72,1
80	88,9	84,9
100	114,3	110,3
125	139,7	135,7
150	168,3	164,3
200	219,1	215,1

Puristamalla putket HST/RST

DN	d _u	d _s
8	12	10
10	15	13
15	18	16
20	22	19,6
25	28	25,6
32	35	32
40	42	39
50	54	51
65	76,1	73,1
80	88,9	84,9
100	108	104

Komposiittiputket

d_u	d_s
16	12
20	15,5
25	20
32	26
40	32
50	41
63	51
75	60
90	73
110	90

Muoviputki PEM

d_u	d_s
32	28
40	35,2
50	44
63	55,4
75	66
90	79,2
110	96,8
125	110,2
140	123,4

